



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS E AMBIENTAIS –  
PPGCIFA

---

JULIANA BARBOSA BRANDÃO

ESTUDO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE TRÊS ESPÉCIES FLORESTAIS

Dissertação de Mestrado apresentada ao programa de Pós Graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Universidade Federal do Amazonas, como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Ciências Florestais e Ambientais, Linha de Pesquisa Manejo e Tecnologia de Recursos Florestais.

Manaus

2010

JULIANA BARBOSA BRANDÃO

ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE TRÊS ESPÉCIES FLORESTAIS

BANCA EXAMINADORA

Profº. Dr. Nabor da Silveira Pio, Presidente  
Universidade Federal do Amazonas  
Orientador

Profº. Dr. Bazílio Frasco Vianez  
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA

Profº. Dra. Claudete Catanhede do Nascimento  
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA

Manaus  
2010

A Deus, pela vida, saúde e todas as oportunidades de crescimento que  
me proporciona.

Aos meus pais Antônio Nogueira Brandão e Francisca  
Santana Barbosa

A meu noivo Rogee Arrais do Carmo

Pelo incentivo e compreensão na realização do sonho.

## AGRADECIMENTOS

A Faculdade de Ciências Agrária da Universidade Federal do Amazonas, pela oportunidade oferecida de ampliar meus estudos e conhecimentos.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas pela concessão de bolsa durante a realização deste trabalho.

À empresa Precious Woods Amazon (Mil Madeiras Preciosas) pela doação e beneficiamento do material de pesquisa.

À orientação do professor Dr. Nabor da Silveira Pio, pela paciência e apoio e competente orientação, amizade, confiança, incentivo e incalculável auxílio.

Ao Prof. Dr. Jorge Luís Monteiro de Matos pelos ensinamentos e competente orientação, paciência, auxílio na realização dos ensaios físicos e mecânicos.

Aos professores da Pós Graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Universidade Federal do Amazonas.

Ao Laboratório de Tecnologia da Madeira da UFPR, em especial ao graduando de Engenharia Industrial Madeireira, Vinicius Yurk da Rocha pelo auxílio durante o encerramento da coleta de dados.

A Msc. Rosilani Trianoski pelo auxílio no desenvolvimento das análises, ensinamentos e apoio.

Ao Prof. Francisco Tarcisio Moraes Mady, por permitir o uso do Laboratório de Física da Madeira.

Ao Chefe de Serviço de Transporte Francisco Gaspar Oliveira da Universidade Federal do Amazonas pela disponibilidade do Caminhão Baú para transporte do material de pesquisa.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, especialmente a Dra. Tereza Maria Farias Bessa e ao Dr. Bazílio Frasco Vianez, que gentilmente disponibilizou a marcenaria para confecção de corpos de prova para os ensaios físicos e mecânicos.

Aos graduandos do curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Amazonas Noely Particcelli e Alberto Peixoto pelo auxílio na confecção dos corpos de prova para os ensaios físicos e mecânicos.

A uma grande amiga Karem Rattmann pelo grande apoio na marcação e organização dos corpos-de-prova no Laboratório de Tecnologia da Madeira da Universidade Federal do Paraná.

Ao meu grande amigo Jhones Lemos, pelo auxílio na apresentação da defesa, pelo companheirismo nestes 6 anos de convivência.

Ao meu noivo Rogee Arrais do Carmo pelo grande apoio nos ensaios físicos e mecânicos no Laboratório de Tecnologia da Madeira da Universidade Federal do Paraná.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para realização deste trabalho.

A Banca Examinadora, pela disponibilidade de avaliação deste trabalho.

## ABSTRACT

The sustained forest management is accepted as an appropriate technological solution for the Amazon Region. The selective exploitation of the traditional wood species is causing the shortage of those species. It is necessary to improve the use of the Amazon forest resources, taking the maximum advantage of their potentialities. The wood species explored for commercial uses are few, and there are many others with use potential. This study was done with the objective of evaluating the physical and mechanical properties of 3 species of Brazilian tropical woods. It has been evaluated static bending, (Module of Rupture – MOR and Module of Elasticity – MOE) Janka hardness, compression perpendicular to the fibers, traction normal to the fibers as mechanicals parameters. For the characterization of physical properties, determined the apparent specific gravity at 12% relative humidity for each species, shrinkage (tangential, longitudinal and radial shrinkages and Volumetric shrinkage), and anisotropy coefficient. The study of physical and mechanical properties of species Breu-vermelho, Pequiarana e Tauari-vermelho is essential for industrial use. For this, 01 trees were felled, for each species in study. The trees were deployed for the preparation of specimens used for physical and mechanical testing. We considered the results of standard tests (NBR 7190:1997, Timber Structures Design, Annex B, Brazilian Association of Technical Standards). For a choice of wood project design defined structural classes of resistance in the NBR 7190/1997 Breu-vermelho and Tauari-vermelho class C20 and Pequiarana C30 according to results of apparent density. According to the anisotropy factor of the Breu-vermelho and Pequiarana should be characterized as normal quality wood can be widely used in construction and Tauari-vermelho wood considered as excellent sought for uses that do not allow bends, twists, such as window, furniture, musical instruments. For the least resistance presented by Breu-vermelho under compression, this should be avoided in situations of structural design. The static bending test for the species indicates Pequiarana structure for use on roofs, beams. Woods Pequiarana and Tauri-vermelho have the potential for floors and decks in accordance with the results of testing the hardness obtained in this study and comparisons with different results in the literature.

**Keywords:** physical properties, mechanical properties; wood; properties.

## RESUMO

O manejo florestal sustentado mostra-se uma solução tecnológica adequada para a região amazônica. A exploração seletiva das espécies madeireiras tradicionais vem ocasionando a escassez dessas espécies. É necessário melhorar o aproveitamento o máximo de suas potencialidades. As espécies de madeira explorada para fins de comerciais são poucas, sendo que há muitas outras com potencial de uso. Este estudo foi realizado com o objetivo de avaliar as propriedades físicas e mecânicas de três espécies de madeiras tropicais brasileiras. Foi avaliada a flexão estática (Módulo de Elasticidade – MOE e Módulo de Ruptura – MOR), compressão perpendicular às fibras, tração normal às fibras, dureza Janka como parâmetros mecânicos. Para a caracterização das propriedades físicas, determinou-se a massa específica aparente a 12% de umidade para cada espécie, a retratibilidade (contração tangencial, longitudinal, radial e volumétrica) e coeficiente de anisotropia. O estudo das propriedades físico-mecânicas das espécies de Breu-vermelho, Pequiarana e Tauari-vermelho é essencial para sua utilização industrial. Para tanto, foram abatidas 01 árvore para cada espécie em estudo. As árvores foram desdobradas para a confecção de corpos-de-prova utilizados para os ensaios físicos e mecânicos. Os resultados foram determinados a partir de ensaios propostos no Anexo B da NBR 7190:1997 – Projeto de Estruturas de Madeira, da Associação Brasileira de Normas Técnicas. Para a escolha de madeiras a elaboração de projetos estruturais definidos nas classes de resistência na NBR 7190/1997 o Breu-vermelho e o Tauari-vermelho se enquadram a classe C20 e a Pequiarana C30 conforme resultados de densidade aparente. Segundo o fator de anisotropia o Breu-vermelho e Pequiarana devem ser caracterizados como madeira de qualidade normal podendo ser largamente empregadas nas construções e o Tauari-vermelho como madeira considerada excelentes procurada para usos que não permitem empenamentos, torções, como janela, móveis, instrumentos musicais. Pela menor resistência apresentada pelo Breu-vermelho sob a compressão, esse deve ser evitado nas situações de projeto de estruturas. O ensaio de flexão estática para a espécie Pequiarana indica para uso de estrutura de telhados, vigas. As madeiras de Pequiarana e Tauari-vermelho possuem potencial para pisos e decks de acordo com os resultados dos ensaios de dureza obtidos no presente trabalho e comparações com diferentes resultados encontradas na literatura.

Palavras-chave: propriedades físicas; propriedades mecânicas, madeira, propriedades.

## LISTA DE FIGURA

FIGURA 1 - Comportamento da madeira quando solicitada à flexão simples.....	13
FIGURA 2 - A madeira pode ser submetida a testes de compressão perpendicular, paralela ou inclinada. ....	15
FIGURA 3 - A solicitação por tração pode se dar nas direções paralela e perpendicular às fibras da madeira.....	16
FIGURA 4 - Medição de comprimento de toras .....	25
FIGURA 5 - Secção de discos da espécie de Tauari-vermelho .....	26
FIGURA 6–Seções das espécies em estudo.....	26
FIGURA 7 - Discos de espécies em estudo e Transporte de seções à serraria .....	27
FIGURA 8- Desdobramento das toras em serra-fita .....	27
FIGURA 9 - Desdobramento das toras em canteadeira.....	27
FIGURA 10 - Esquema de amostragem do experimento .....	28
FIGURA 11 - Laboratório de Tecnologia da Madeira da UFPR .....	29
FIGURA 12 - Sala de climatização e Climatização dos corpos de prova .....	29
FIGURA 13 – Dimensões de corpos de prova para os ensaios físicos (NBR-7190:1997).....	29
FIGURA 14 – Dimensões de corpos de prova para os ensaios mecânicos (NBR-7190:1997) .....	30
FIGURA 15 – Discos de Tauari-vermelho e Pequiarana.....	30
FIGURA 16 – Discos de Breu-vermelho .....	31
FIGURA 17 - Balança Ohuaus Adventurer 3,1 kg e Paquímetro digital Mitutoyo 0-200 (mm), resolução 0,01(mm). ....	31
FIGURA 18 - Máquina Universal de Ensaios Emic.....	32
FIGURA 19- Ensaio de dureza a espécie Tauari-vermelho.....	33
FIGURA 20- Ensaio de flexão com a espécie Breu-vermelho .....	34
FIGURA 21 – Diagrama carga x flecha na flexão. ....	34
FIGURA 22 – Amostra do corpo de prova de compressão após o ensaio e ensaio de compressão.....	36
FIGURA 23- Ensaio de tração normal às fibras e Amostras de tração em estufa para secagem a 0%.	37

## LISTA DE TABELA

TABELA 1 - Localização das espécies em estudo.....	24
TABELA 2 - Dados dendrométrico das toras de Breu-vermelho, Pequiarana e Tauari-vermelho.....	25
TABELA 3 - Valores médios de densidade aparente a 0% e 12% de umidade respectivamente para as três espécies estudadas.....	38
TABELA 4 - Valores médios da densidade aparente obtida para a espécie Breu-vermelho.....	39
TABELA 5 - Valores médios da densidade aparente obtida para a espécie Pequiarana.....	40
TABELA 6 - Valores médios da densidade aparente obtida para a espécie Tauari-vermelho.....	40
TABELA 7 - Comparação dos resultados de densidade aparente com outras literaturas.....	41
TABELA 8 - Valores médios de contração radial (%) das três espécies estudadas.....	42
TABELA 9 - Valores médios de contração radial (%) das seções da espécie Breu-vermelho.....	42
TABELA 10- Valores médios de contração radial (%) da espécie Pequiarana.....	43
TABELA 11 - Valores médios de contração radial (%) da espécie Tauari-vermelho.....	43
TABELA 12 - Valores médios de contração tangencial (%) das três espécies estudadas.....	44
TABELA 13 - Comparação dos resultados de contração tangencial com Banco de dados de espécies de madeiras brasileiras.....	44
TABELA 14 - Valores médios de contração tangencial (%) da espécie Tauari-vermelho.....	45
TABELA 15 - Valores médios de contração tangencial (%) da espécie Pequiarana.....	45
TABELA 16 - Valores médios de contração tangencial (%) da espécie Breu-vermelho.....	46
TABELA 17 - Valores médios de contração volumétrica (%) das espécies estudadas.....	47
TABELA 18 - Comparação dos resultados de contração volumétrica com Banco de dados de espécies de madeiras brasileiras.....	47
TABELA 19 - Valores médios de contração volumétrica (%) das seções da espécie Breu-vermelho.....	48
TABELA 20- Valores médios de contração volumétrica (%) das seções da espécie Pequiarana.....	49
TABELA 21- Valores médios de contração volumétrica (%) das seções da espécie Tauari-vermelho.....	49
TABELA 22 - Valores médios de contração longitudinal (%) das espécies avaliadas.....	50
TABELA 23 - Valores médios de contração longitudinal (%) da espécie Breu-vermelho.....	50
TABELA 24 - Valores médios de contração longitudinal (%) da espécie Pequiarana.....	51
TABELA 25 - Valores médios de contração longitudinal (%) da espécie Tauari-vermelho.....	51
TABELA 26 – Coeficiente de anisotropia (%) das espécies estudadas.....	52

TABELA 27 - Valores médios de Coeficiente de Anisotropia (%) das seções da espécie Breu-vermelho.....	53
TABELA 28 - Valores médios de Coeficiente de Anisotropia (%) das seções da espécie Pequiarana	53
TABELA 29 - Valores médios de Coeficiente de Anisotropia (%) das seções da espécie Tauari-vermelho.....	53
TABELA 30 - Comparação dos resultados de coeficiente de anisotropia com Banco de dados de espécies de madeiras brasileiras (LPF/IBAMA, 2011) .....	54
TABELA 31 - Valores médios de dureza no plano tangencial das espécies Breu-vermelho, Pequiarana, Tauari-vermelho .....	55
TABELA 32 - Valores médios de dureza no plano tangencial das espécies Breu-vermelho, Pequiarana e Tauari-vermelho.....	56
TABELA 33 - Comparação dos resultados de Dureza no Plano Tangencial com Banco de dados de espécies de madeiras brasileiras (LPF/IBAMA, 2011) .....	56
TABELA 34 - Valores médios de dureza no plano longitudinal das espécies Breu-vermelho, Pequiarana, Tauari-vermelho .....	57
TABELA 35 - Valores médios de dureza no plano longitudinal das espécies Breu-vermelho, Pequiarana, Tauari-vermelho .....	58
TABELA 36 - Valores médios de dureza no plano radial das espécies Breu-vermelho, Pequiarana, Tauari-vermelho .....	59
TABELA 37 - Comparação dos resultados de Dureza no Plano Radial com Banco de dados de espécies de madeiras brasileiras (LPF/IBAMA, 2011) .....	59
TABELA 38 - Valores médios de dureza no plano radial das espécies Breu-vermelho, Pequiarana, Tauari-vermelho .....	60
TABELA 39 - Valores médios de tração normal às fibras .....	61
TABELA 40 - Valores médios de tração normal às fibras por seção.....	62
TABELA 41 - Valores médios de flexão estática para o ensaio de módulo de elasticidade ( $E_{M0}$ ).....	62
TABELA 42 – Valores médios de flexão Estática para o ensaio de módulo de elasticidade ( $E_{M0}$ ) por seções .....	63
TABELA 43 – Valores médios de flexão Estática para o ensaio de módulo de elasticidade ( $E_{M0}$ ) por seções da espécie Pequiarana .....	63
TABELA 44 – Valores médios de flexão Estática para o ensaio de módulo de elasticidade ( $E_{M0}$ ) por seções da espécie Tauari-vermelho .....	64

TABELA 45 - Comparação dos resultados de Módulo de Elasticidade ao ensaio de Flexão Estática com Banco de dados de espécies de madeiras brasileiras (LPF/IBAMA, 2011) .....	64
TABELA 46 - Valores médios de flexão estática para os ensaios de módulo de ruptura ( $f_M$ ) por espécies .....	65
TABELA 47 - Valores médios de flexão Estática para os ensaios de módulo de ruptura $f_M$ para as seções das espécies estudadas .....	65

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>2 OBJETIVOS</b>	<b>3</b>
2.1 GERAL	3
2.2. ESPECÍFICOS	3
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA</b>	<b>4</b>
3.1 PROPRIEDADES FÍSICAS	4
3.1.1 MASSA ESPECÍFICA	4
3.1.2 DENSIDADE	6
3.2 PROPRIEDADES MECÂNICAS	11
3.2.1 Dureza	12
3.2.2 Flexão	13
3.2.3 Compressão normal às fibras	14
3.2.4 Tração normal às fibras	15
3.3 FATORES QUE AFETAM AS PROPRIEDADES DA MADEIRA	16
3.3.1 ESPÉCIE	16
3.4 PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS DAS TRÊS ESPÉCIES ESTUDADAS	17
3.4.1 Características e usos de Tauari-vermelho ( <i>Cariniana micrantha Ducke</i> )	17
3.4.1.1 Características Gerais	18
3.4.1.2 Áreas de ocorrência	19
3.4.2 Características e usos de Pequiarana ( <i>Caryocar glabrum</i> )	19
3.4.2.1 Características Gerais	20
3.4.3 Breu-vermelho	21
3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA	21
3.5.1 Análise de Variância	22
3.5.2 Teste de Comparação de Médias	22
3.5.3 Coeficiente de variação (CV)	23
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>24</b>
4.1 IDENTIFICAÇÕES DAS ESPÉCIES DO ESTUDO	24
4.2 DESCRIÇÕES DO LOCAL E AMOSTRAGEM DO MATERIAL	24

4.2.1	<i>Descrição do local</i>	24
4.2.2	<i>Amostragem do material em campo</i>	25
4.2.3	<i>Confecção dos corpos-de-prova</i>	28
4.3	<b>PROPRIEDADES FÍSICAS</b>	30
4.3.1	<i>Densidade</i>	30
4.3.2	<i>Retratibilidade</i>	32
4.4	<b>PROPRIEDADES MECÂNICAS</b>	32
4.4.1	<i>Dureza</i>	33
4.4.2	<i>Flexão Estática</i>	33
4.4.3	<i>Compressão normal às fibras</i>	35
4.4.4	<i>Tração normal às fibras</i>	37
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>38</b>
5.1	<b>PROPRIEDADES FÍSICAS</b>	38
5.1.1	<i>Densidade Aparente</i>	38
5.1.1.1	<i>Densidade Aparente a 12% de umidade das seções da espécie Breu-vermelho</i>	39
5.1.1.2	<i>Densidade Aparente a 12% de umidade das seções da espécie Pequiarana</i>	39
5.1.1.3	<i>Densidade Aparente a 12% de umidade das seções da espécie Tauari-vermelho</i>	40
5.1.2	<b>RETRATIBILIDADE</b>	41
5.1.2.1	<i>Contração Radial</i>	41
5.1.2.1.1	<i>Contração radial das seções das espécies estudadas</i>	42
5.1.2.2	<i>Contração Tangencial</i>	43
5.1.2.2.1	<i>Contração tangencial das seções das espécies estudadas</i>	45
5.1.2.3	<i>Contração Volumétrica</i>	46
5.1.2.3.1	<i>Contração Volumétrica das seções das espécies estudadas</i>	48
5.1.2.4	<i>Contração Longitudinal</i>	49
5.1.2.4.1	<i>Contração Longitudinal das seções das espécies avaliadas</i>	50
5.1.2.5	<i>Coefficiente de anisotropia (CA)</i>	51
5.2	<b>PROPRIEDADES MECÂNICAS</b>	55
5.2.1	<i>Dureza</i>	55
5.2.1.1	<i>Dureza tangencial (Transversal)</i>	55
5.2.1.2	<i>Dureza longitudinal</i>	57
5.2.2	<i>Tração normal às fibras</i>	61
5.2.3	<i>Flexão Estática</i>	62

5.2.4 Compressão Normal às Fibras	67
<b>6 CONCLUSÃO</b>	<b>68</b>
<b>7 RECOMENDAÇÕES</b>	<b>69</b>
<b>8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>70</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PISOS DE MADEIRA (2007), a madeira tem grande importância na vida do homem desde o seu aparecimento, seria impossível a evolução e o desenvolvimento da humanidade sem a participação da madeira.

De acordo com ROCHA (2001), a madeira está presente nas mais diversas aplicações conforme exemplos a seguir: na lenha e carvão, para nos alimentar e aquecer; no carvão, para as mais diversas indústrias que necessitam de fonte de calor; no papel; nos veículos de transporte (automóveis, caminhões, aviões, barcos, etc.); nas ferrovias (dormentes); na construção civil (estruturas, pisos, portas, janelas, formas, painéis, etc.). Enfim, em quase todas as situações, a madeira de alguma forma está presente. É um material de incrível aplicabilidade, entretanto é necessária a exploração racional e sustentada dos recursos florestais para garantir sua utilização futura. É um produto ecologicamente correto, ou seja, natural, reciclável e renovável (REYMÃO, 2004).

Utilizando produtos de madeira incentiva-se o reflorestamento e a reciclagem das florestas nativas extremamente necessárias para purificação do nosso ar, assim obtendo retorno econômico é importante para garantir a sustentabilidade da atividade florestal (VALVERDE & NEIVA, 2004).

A indústria de base florestal tem evoluído notadamente nos últimos anos, e continua em acentuada expansão tecnológica, tanto em termos de processos como de produtos.

Para atender esta demanda de matéria-prima cada vez mais crescente, torna-se necessário não somente analisar as propriedades físicas e mecânicas das espécies atualmente utilizadas, mas também buscar opções de outras espécies de propriedades similares que possam contribuir de forma quantitativa e qualitativa para suprir as necessidades das indústrias madeireiras, bem como, contribuir para o desenvolvimento e geração de novos produtos.

Para avaliar a viabilidade de utilização de espécies não convencionais na indústria de do setor florestal, pesquisas devem ser conduzidas, onde o conhecimento das características destas espécies ou a tendência de seus comportamentos é de fundamental importância para adequabilidade a produtos do setor florestal. Verifica-se ainda, que nos últimos anos poucos estudos foram realizados com este intuito.

Sob o ponto de vista tecnológico, a utilização de espécies florestais alternativas pode contribuir para melhorar a qualidade e as propriedades da produção madeireira. Pode ainda,

significar um incentivo a introdução destas espécies nas autorizações de colheita florestal emitidos em planos de manejo florestal sustentável licenciado pelos órgãos competentes, uma vez assegurados à qualidade e os requisitos do produto em questão.

Neste contexto, ressalta-se a contribuição deste trabalho, para proporcionar tal contribuição à indústria do setor florestal, foram estabelecidos os objetivos mencionados no item 2.

Apesar dos esforços promovidos por alguns centros de pesquisa voltados ao estudo da madeira como o Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia – INPA, o Instituto de Pesquisa Tecnológica – IPT e o Laboratório de Produtos Florestais – LPF, ainda existem diversas espécies carentes de uma caracterização mais detalhada, o que facilitaria sua utilização como recurso madeireiro (GOUVEIA, 2008).

Para BAUER (1985), a escolha da madeira de uma espécie lenhosa para um determinado emprego somente poderá ser conduzida, com economia e segurança, conhecendo-se os valores médios que definem seu comportamento físico e sua resistência as solicitações mecânicas.

Segundo o mesmo autor, deve-se ainda realizar numerosos ensaios de qualificação sobre amostras representativas de madeira da espécie em questão, levando em consideração todos os fatores de alteração das características do mesmo, tanto os naturais, decorrentes da própria natureza do material, como os tecnológicos, decorrentes da execução dos ensaios.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Geral

Avaliar as propriedades físicas e mecânicas de três espécies florestais.

### 2.2. Específicos

a) Avaliar a estabilidade dimensional através dos ensaios de propriedades físicas para as espécies e suas respectivas seções.

b) Avaliar a resistência mecânica por espécies e suas respectivas seções.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 PROPRIEDADES FÍSICAS

Constatou-se na literatura, uma escassez de trabalhos na área tecnológica da madeira, principalmente com relação ao conhecimento das interações das propriedades físicas das madeiras mais utilizadas no Brasil, cita REZENDE, et. al (1995). Muito embora a umidade não seja uma característica intrínseca da madeira, seu estudo é indispensável por se tratar de um parâmetro que afeta o comportamento do material durante as fases de processamento, secagem e preservação. Além de ser diferente entre as espécies, o teor de umidade varia significativamente dentro de uma mesma árvore.

Assim como o teor de umidade, as alterações dimensionais na madeira não são isotrópicas (GALVÃO; JANKOVSKY, 1985), comportando-se diferentemente nas direções radial, longitudinal e tangencial.

##### 3.1.1 MASSA ESPECÍFICA

A massa específica constitui uma das propriedades físicas mais importantes da madeira, pois dela dependem a maior parte de suas propriedades físicas e tecnológicas, servindo na prática como uma referência para a classificação da madeira. É comprovado que a correta utilização de um material está associada às suas características. A madeira não foge a regra, tornando-se de grande importância o conhecimento de suas características, a fim de prognosticar seu comportamento em diferentes utilizações (PAES et al, 1995).

A massa específica foi à primeira das propriedades da madeira a ser estudada, com base na idéia de que esta era a propriedade onde melhor se refletia a qualidade da madeira como material de construção. Sob certas hipóteses, a massa específica é um dado útil com referência à qualidade da madeira, e pode ser empregado como elemento de juízo em sua seleção e classificação (KOLMANN, 1959).

De acordo com OLIVEIRA e SILVA (2003), as variações da massa específica dependem das mudanças na proporção dos vasos e das espessuras das paredes celulares das fibras. O aumento dessa propriedade pode ser o resultado do aumento da espessura da parede celular das fibras ou de um aumento na proporção das fibras em relação, por exemplo, à

proporção de vasos. De maneira inversa, um aumento na proporção de vasos, com ou sem decréscimo na espessura da parede celular, leva à sua redução.

A massa específica da madeira está intimamente ligada ao seu teor de umidade por consequência das variações de massa e de volume. Portanto, para determinação dessa propriedade física, é necessário também o conhecimento da retração e expansão volumétrica da madeira. Sabe-se também, que a retratibilidade total da madeira aumenta com sua massa específica (KOLLMAN e CÔTÉ, 1968), sendo importante relacionar essas duas propriedades.

A massa específica por sua vez, é uma das propriedades da madeira que, quando analisada em função da espécie, variedade, povoamento, idade, árvore, e até mesmo dentro de uma amostra ou disco, apresenta diferentes valores (REZENDE et al, 1995).

VALE et al., (1995) considerando os processos tecnológicos, concluíram que é altamente desejável ter madeira com massa específica mais homogênea possível, pois este fato proporciona ao processo melhor rendimento e melhor qualidade do produto final.

BURGER & RICHTER (1991) afirmam que a massa específica reflete a composição química e o volume de matéria lenhosa por peso, sendo talvez a característica tecnológica mais importante da madeira. Da massa específica dependem estreitamente outras propriedades, tais como a resistência mecânica, o grau de instabilidade dimensional pela perda ou absorção de água.

A massa específica da madeira é expressão da média real da quantidade de material lenhoso contido em determinado volume, sendo que as propriedades de resistência da madeira dependem da quantidade de material lenhoso presente. O aumento das propriedades de resistência em madeira verde e seca com o incremento da massa específica fica demonstrado através da relação entre a massa específica e essas propriedades. Para madeiras de grã direita e livre de defeitos, a massa específica também é um bom indicativo das propriedades mecânicas da madeira (KLOCK, 1989).

A comparação entre massas específicas, entretanto, somente deve ser feita entre madeiras que tenham o mesmo teor de umidade, tendo sido estabelecidos como pontos de comparação os valores de 0% e 12% de umidade. A massa específica assim determinada chama-se massa específica aparente (KOLMANN, 1959).

A necessidade de especificar valores do teor de umidade na determinação da massa específica decorre do fato de que o peso e o volume da madeira variam de acordo com o teor de umidade. Para comparações válidas, devem-se especificar os valores de referência. O peso, facilmente obtido, é o do material seco em estufa, enquanto o volume verde requer preparação prévia (CORE et al, 1979)

A massa específica é uma propriedade física intensiva da matéria, ou seja, independe do tamanho da amostra. É definida como a razão entre a massa de um objeto e seu volume (BORGNAKKE et al, 2003).

Seu cálculo é feito através da relação:  $\rho = \frac{m}{V}$

Onde:  $\rho$  = massa específica do objeto ( $\text{g/cm}^3$ ) ou ( $\text{kg/m}^3$ );  $m$  = massa do objeto (g) ou (kg);  $V$  = volume do objeto ( $\text{cm}^3$ ) ou ( $\text{m}^3$ ).

### 3.1.2 DENSIDADE

Conforme MACEDO (1976) e AGUIAR (1980), a densidade de um corpo é definida como sendo uma relação entre sua massa específica e a massa específica da água pura. A massa específica de um corpo é a relação entre sua massa e seu volume. Para a água pura, esta relação é igual a  $1,0 \text{ g/cm}^3$ , permitindo concluir que os termos densidade e massa específica são idênticos em termos de valores numéricos.

Do ponto de vista de REZENDE & ESCOBEDO (1988), pode-se utilizar três maneiras para se expressar a densidade da madeira:

Densidade aparente ( $\rho_{ap}$ ), definida como relação entre a massa e o volume, determinada nas mesmas condições de umidade (U), e variável dependente do valor de U.

Densidade a 0%, definida como a relação entre massa e volume obtidos para  $U = 0$ , onde a massa e o volume são obtidos após secagem em estufa  $103 \pm 5^\circ\text{C}$ .

Densidade básica ( $\rho_b$ ). Esta é definida como a relação entre a massa seca para  $U = 0$  e volume saturado em água.

De acordo com REZENDE e ESCOBEDO (1988), as relações entre massa e volume são igualmente importantes, dependendo da finalidade. A densidade básica é geralmente utilizada nos inventários florestais para determinação da massa seca da floresta. Já a densidade a 0% parece mais adequada quando se deseja qualificar o material.

Todas as espécies produtoras de madeira possuem variações naturais em suas características, que são provenientes de diferenças genotípicas, bem como de diferentes respostas às condições ambientais que a árvore está se desenvolvendo (PANSWIN e DE ZEEUW, 1980).

Até o presente momento, poucos são os trabalhos que relacionam todas as características exigidas pelo mercado consumidor às propriedades inerentes à madeira, como por exemplo, a densidade. LOBÃO et al. (2004) afirmam que a resistência mecânica da madeira é influenciada diretamente pela densidade do material.

De acordo com VALE et al. (1992), o conhecimento da variação da densidade nos sentidos axial e radial pode determinar seu uso. PANSIN e DE ZEEUW (1980) citam que a densidade pode variar de uma espécie para a outra, dentro de uma mesma espécie e na direção radial e axial de uma mesma árvore, sendo que essa variação se deve basicamente à sua composição anatômica. SIMPSON e TENWOLDE (1999) mencionam a existência de dois principais fatores que afetam os produtos à base de madeira sólida, o teor de umidade e a densidade da madeira, além de outros elementos como extrativos e minerais.

A densidade é característica particular de cada espécie, há variação de árvore a árvore ou até mesmo de secções do próprio tronco, estas variações se dão através da distribuição dos diferentes tipos de células e proporções de vazios em relação ao tecido lenhoso. A umidade influi significativamente na densidade da madeira.

Segundo BARRICHELO (1992), do ponto de vista da utilização tecnológica da madeira, torna-se importante o estudo da variação individual e o diagnóstico da variabilidade dentro da árvore, tanto no sentido radial (medula-alburno) quanto no sentido longitudinal (base-topo). As possíveis alterações na densidade, decorrentes de aumento na taxa de crescimento, têm merecido a atenção de um grande número de pesquisadores.

### 3.1.3 RETRATIBILIDADE

De acordo com TREVISAN (2006), a retratibilidade da madeira é o fenômeno relacionado à sua variação dimensional, em função da troca de umidade do material com o meio que o envolve, até que seja atingida uma condição de equilíbrio, chamada de umidade de equilíbrio higroscópico.

Conforme SILVA e OLIVEIRA (2003), todo material higroscópico, como a madeira e vários outros materiais celulósicos, apresenta contração quando o seu teor de umidade do ponto de saturação das fibras (PSF) é reduzido a condição absolutamente seca ou anidra. A contração e a expansão dimensional da madeira são dois dos mais importantes problemas práticos que ocorrem durante a sua utilização, como consequência da mudança do teor de umidade.

Segundo DURLO e MARCHIORI (1992), as variações dimensionais provocadas pela contração e pelo inchamento da madeira, conjuntamente com a anisotropia, são características indesejáveis da madeira, limitando o seu uso para diversas finalidades ou, ainda, exigindo técnicas específicas de utilização. A contração e o inchamento, em última análise, correspondem às alterações na quantidade de água de impregnação, isto é, a secagem ou o ganho de umidade abaixo do ponto de saturação das fibras, ou cerca de 28% de teor de umidade em base seca (TREVISAN, 2006).

A maior alteração dimensional da madeira, de acordo com os mesmos autores, manifesta-se no sentido tangencial aos anéis de crescimento, seguida pela dimensão radial, sendo praticamente desprezível no sentido longitudinal. Outro importante índice para avaliar a estabilidade dimensional da madeira e o coeficiente ou fator anisotrópico, definido pela relação entre as contrações tangencial e radial (T/R) (TREVISAN, 2006).

A madeira, quando seca abaixo do ponto de saturação das fibras, perde água de adesão e sofre contração. Este processo reversível, pois se a água entrar na parede celular a madeira intumescce. Estas mudanças de dimensão são completamente reversíveis quando se trata de pequenas peças. A retração é proporcional à quantidade de água removida da parede celular. A contração longitudinal é desconsiderada, por ser muito pequena, já a contração tangencial costuma ser maior que a radial por um fator de 1,5 a 3,0 (BOWYER, et al, 2003).

A madeira é um material orgânico, de estrutura complexa e heterogênea, que aumenta e diminui as suas dimensões, de acordo com a umidade do ambiente. Essa variação no teor de umidade afeta a geometria das peças em serviço e, por consequência, as características de resistência mecânica dos elementos estruturais.

DURLO e MARCHIORI (1992) asseguraram que as variações dimensionais e a anisotropia são características indesejáveis da madeira, limitando o seu uso para diversas finalidades, exigindo, por isso, técnicas específicas de processamento e utilização. Segundo VITAL e TRUGILHO (1997), as variações dimensionais, provocadas pela contração e inchamento da madeira, ocorrem quando há flutuações na umidade da madeira a um ponto abaixo da umidade de saturação das fibras, correspondendo às alterações na quantidade de água de impregnação; acima desse ponto, as alterações se resumem, tão somente, a pequenas oscilações de peso, sem alterações nas dimensões. Segundo os mesmos autores, as variações dimensionais se devem ao ligamento ou desprendimento de moléculas de água às microfibrilas da parede celular.

Segundo PANSWIN e DE ZEUIW (1980), as contrações longitudinais e transversais variam, basicamente, de acordo com a interação da quantidade de substância madeira, com a

média do ângulo microfibrilar nas paredes das células, em relação ao eixo longitudinal da célula, e com a extensão da lignificação da parede da célula. A contração, como resultado da perda de água, ocorre quase inteiramente entre as microfibrilas, nos vazios existentes dentro da parede da célula. O reforço das microfibrilas deforma a matriz contraída e produz alterações desiguais no comprimento e na espessura da parede das células, causando mudanças dimensionais laterais consideráveis e pequenas mudanças longitudinais na madeira, onde os ângulos das microfibrilas são pequenos. Quando tais ângulos são grandes, o componente de contração longitudinal aumenta e o componente de contração transversal na parede da célula diminui.

PANSHIN e DE ZEuw (1980), MOREIRA (1999) afirmaram que as contrações ocorrem mais intensamente no sentido transversal das fibras do que no longitudinal, em função de sua característica anisotrópica; afirmaram, ainda, que a maior alteração dimensional da madeira se manifesta no sentido tangencial aos anéis de crescimento, seguida pela dimensão radial e, praticamente, desprezível no sentido longitudinal.

Segundo KLOCK (2000), a pequena alteração nas dimensões no sentido longitudinal, em relação às demais dimensões, se deve à organização vertical da maioria dos elementos estruturais constituintes da madeira, o que faz com que o número de paredes por centímetro quadrado seja bem menor nesse sentido. A camada S2 é mais espessa e mais rica em celulose que as demais, tornando-se a principal responsável pela contração no sentido transversal.

LELLES e SILVA (1997) afirmaram que, em geral, observa-se que a contração na direção tangencial é, aproximadamente, 1,5 a 2 vezes maior do que a que ocorre na direção radial. Segundo os mesmos autores, uma anisotropia de contração igual a 1 representa uma alteração igual de dimensões nos sentidos radial e tangencial, situação considerada ideal e que não provocaria formação de tensões internas. Quanto maiores forem os desvios nesses dois sentidos, mais alta será a anisotropia de contração e maiores serão os danos na madeira na fase de secagem.

Inúmeros pesquisadores procuraram a explicação da anisotropia da madeira, através de sua estrutura anatômica. Consideraram que a contração e a expansão diferenciadas nas diferentes direções de crescimento são atribuídas, principalmente, à estrutura da parede celular e, em parte, à presença dos raios que dificultam a variação no sentido radial. SKAAR (1972) verificou que, a nível microscópico, o comportamento da madeira depende da largura dos anéis, da proporção do lenho inicial e tardio, da orientação das fibras e dos raios; a nível submicroscópico, a inclinação das microfibrilas é considerada a principal responsável pelo comportamento da madeira. Segundo TSouMIS (1991), a estrutura anatômica é a principal

responsável para a contração e o inchamento anisotrópico. ZHANG (1994) observou que a contração volumétrica depende dos diferentes tecidos anatômicos da matéria lenhosa, principalmente da porcentagem de fibras e pela proporção do parênquima axial e dos vasos.

Segundo KOLLMAN e CÔTÉ (1968), a diferença entre a retratibilidade tangencial e a radial em algumas espécies pode ser explicada pela influência restritiva dos raios na direção radial e pelo arranjo helicoidal das microfibrilas nas paredes tangenciais e radiais. Uma das causas das propriedades anisotrópicas da madeira é a orientação das micelas, fibrilas e fibras que formam o tecido lenhoso. MASSERAN e MARIAUX (1985) afirmaram que o volume dos raios, a dimensão radial das fibras, bem como as diferenças químicas entre as paredes radiais e tangenciais são responsáveis pela anisotropia da madeira. MOREIRA (1999), em estudo com madeiras de várias espécies, verificou que a contração radial e volumétrica aumentou no sentido medula-casca, como um reflexo do aumento da massa específica.

PANSHIN e DE ZEUIW (1980) afirmaram que, na madeira juvenil, a contração é maior mais próximo da medula, diminuindo rapidamente no sentido medula-casca. Tal variação na fase de crescimento juvenil está relacionada à redução do ângulo microfibrilar na parede celular, com o aumento do comprimento da célula e com o aumento do teor de celulose. Na madeira madura normal, as contrações transversais e volumétricas estão diretamente relacionadas com a massa específica, comprimento das fibras, ângulo microfibrilar das paredes celulares e teor de extrativos presentes no cerne.

Segundo MOREIRA (1999), o cerne contrai menos que o alborno, embora contenha maior teor de extrativos. A redução da contração ocorre quando moléculas pequenas de extrativo penetram nos espaços internos na parede celular e ocupam os sítios até então disponíveis para adsorção de água.

### 3.1.3 COEFICIENTE DE ANISOTROPIA DA MADEIRA

Segundo DURLO e MARCHIORI (1992), o mais importante índice para se avaliar a estabilidade dimensional da madeira é o coeficiente ou fator anisotrópico, definido pela relação entre as contrações tangencial e radial (T/R). Tal relação, frequentemente, explica as deformações da madeira que ocorrem durante a secagem.

DURLO e MARCHIORI (1992) estabeleceram a seguinte classificação da madeira em função dos seus coeficientes de anisotropia: 1,2 a 1,5 - considerada excelente, ocorrendo em madeiras como Cedro, Sucupira, Mogno, Balsa, entre outras espécies; 1,5 a 2,0 - considerada normal, ocorrendo em madeiras como Ipê, Pinus, Peroba-rosa, Teca, entre outras espécies;

acima de 2,0 – considerada como ruim, que poderá ocorrer em madeiras de Araucária, Imbuia, Álamo, Jatobá, entre outras espécies.

O coeficiente de anisotropia, segundo LOGSDON et al. (2008), é usado na indicação da qualidade da madeira quanto aos defeitos oriundos da secagem. Uma das causas das propriedades anisotrópicas da madeira é a orientação das micelas, fibrilas e fibras que formam o tecido lenhoso. Segundo os autores, o volume dos raios, a dimensão radial das fibras e as diferenciações químicas entre as paredes radiais e tangenciais são responsáveis pela anisotropia da madeira. (SILVA e OLIVEIRA, 2003).

Uma anisotropia de contração igual a 1 representa uma alteração igual de dimensões nos sentidos radial e tangencial, situação considerada ideal e que não provocaria formação de tensões internas (CHIES, 2005).

Segundo CHIES (2005) o fator anisotrópico, tomado de forma isolada, no entanto, não caracteriza uma madeira como sendo estável, causando, ao contrário, uma falsa sensação de estabilidade. Coeficientes de anisotropia de contração baixos, oriundos de contração tangencial e radial elevadas, revelam uma madeira com alta instabilidade dimensional (CHIES 2005).

### 3.2 PROPRIEDADES MECÂNICAS

As propriedades mecânicas da madeira são determinadas pelo seu comportamento quando é solicitada por forças externas, sendo divididas em propriedades de elasticidade e de resistência (CALIL, 1999).

As propriedades elásticas dizem respeito à capacidade do material de retornar à sua forma inicial uma vez retirada as cargas aplicadas, sem apresentar deformações residuais. Apesar da madeira apresentar esta deformação residual, é considerada como um material elástico para a maioria dos usos estruturais (MELLO, 2007).

As propriedades de resistência da madeira estão diretamente relacionadas com a sua densidade, de forma que as madeiras mais densas são normalmente as mais resistentes, embora haja variações destas propriedades em madeiras com a mesma densidade (MELO, 2002).

Para a determinação das propriedades de resistência da madeira, são efetuados os ensaios de caracterização, sendo que devido ao alto custo para sua realização com peças em tamanho estrutural, são realizados com corpos-de-prova e os valores destes ensaios são utilizados para se determinar as tensões de cálculo de estruturas (MELO, 2002).

A tensão é definida como a força por unidade de área, sendo que na madeira existem três tipos de tensões a que pode estar submetida: tensão de compressão, tensão de tração, de flexão e cisalhamento (CARTAGENA, 1982).

Segundo MELLO (2007) a alteração dimensional resultante da atuação de esforços é chamada de deformação, e a relação entre esforço e deformação é proporcional dentro do chamado regime elástico; ou esta relação perde esta proporcionalidade, dentro do chamado regime plástico.

### 3.2.1 Dureza

Quanto à determinação da dureza, obtida pela introdução de uma semiesfera nas direções paralela e perpendicular às fibras da madeira, trata-se de uma propriedade importante para comparação entre espécies e também para a definição de alguns usos finais como pisos, onde é fundamental que a peça de madeira não seja suscetível a marcas provenientes de móveis e outros (MELLO, 2007).

KOLMANN e COTÉ (1968) pesquisando a influencia da densidade na Dureza Janka, observaram que há uma relação estreita entre esses parâmetros.

De acordo com SILVA et al., (1992), uma revisão de literatura sobre trabalhos com dureza janka em espécies tropicais mostrou que existe carência de estudo nessa área. Ainda o mesmo autor informa que há necessidade de mais estudos sobre o assunto para ampliar o numero de informações, como forma de contribuir ao conhecimento das espécies madeireiras amazônicas, tendo em vista que mais de 90% dos conhecimentos práticos e teóricos são provenientes de outras regiões e até mesmo de outros países.

POGETTO et al. (2006) afirmam a importância da determinação da dureza da madeira, nas direções paralela e perpendicular às fibras, com vistas ao emprego em dormentes. Assinalam que a dureza Janka vem ganhando destaque no conjunto das informações essenciais usadas para avaliar a qualidade da madeira e seu potencial tecnológico. Apontam que a relação entre a dureza paralela e a dureza normal às fibras (determinadas pelo método Janka) se aproxima de um, com alguma tendência de aumento para as densidades mais elevadas.

### 3.2.2 Flexão

Segundo CALIL (1999) quando a madeira é solicitada à flexão, chamada de flexão simples ocorre quatro tipos de esforços: compressão paralela às fibras, tração paralela às fibras, cisalhamento horizontal e compressão perpendicular às fibras (ocorre nos apoios), conforme apresentado na FIGURA 1.

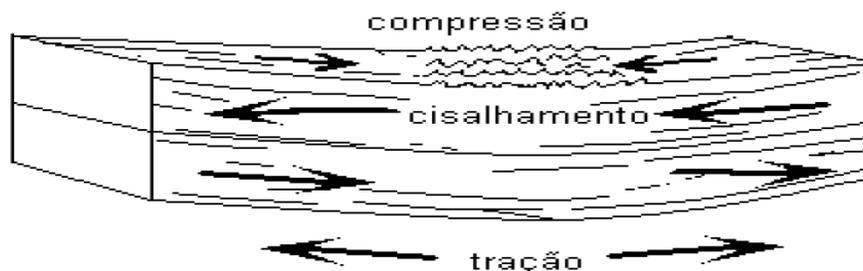


FIGURA 1 - Comportamento da madeira quando solicitada à flexão simples

Fonte: a partir de CALIL (1999).

De acordo com CARTAGENA (1982), a diferença entre a resistência a tração e a compressão paralela resultam em um comportamento peculiar das peças de madeira sujeitas à flexão, que falham primeiro por compressão gerando o aumento da área comprimida e a redução da área tracionada, resultando no rompimento da peça por tração.

O módulo de ruptura (MOR) e o módulo de elasticidade (MOE) são dois parâmetros normalmente obtidos em testes de flexão estática, sendo de grande importância na caracterização tecnológica da madeira, uma vez que se permite o conhecimento da resistência do material submetido a uma força aplicada perpendicularmente ao eixo longitudinal da madeira (SCANAVACA JR. e GARCIA, 2004). MOREIRA (1999) informa também que o módulo de ruptura e o módulo de elasticidade são dois parâmetros normalmente determinados nos testes de flexão estática e são de grande importância na caracterização tecnológica da madeira; ambos dão uma boa aproximação da resistência do material, constituindo-se, na prática, parâmetros de grande aplicação na classificação dos materiais. Segundo TSOUMIS (1991), a massa específica, retratibilidade, módulo de ruptura e módulo de elasticidade são considerados os mais importantes parâmetros físico-mecânico para a caracterização da madeira sólida. Os seus valores expressam a combinação de diversos fatores, incluindo a constituição morfológica, anatômica e química da madeira.

A resistência à flexão ou módulo de ruptura é uma das mais importantes propriedades da madeira como material construtivo, sendo o fator primordial na construção de casas, pontes, telhados, construções marítimas e demais construções de madeira (OLIVEIRA, 1997). A resistência de uma peça de madeira, submetida à flexão, é expressa em termos de esforços por unidade de área, através do módulo de ruptura, representando o máximo esforço que é aplicado sobre as fibras nos extremos superior e inferior da seção transversal da peça. Os valores do módulo de ruptura são utilizados para a obtenção de tensões admissíveis para diversas formas de utilização da madeira (SILVA, 2002).

LIMA, BREESE e CAHALAN (2000), verificaram que o módulo de ruptura (MOR) e o módulo de elasticidade (MOE) aumentaram seus valores no sentido medula casca.

CHIMELO (1980), procurando relacionar as propriedades mecânicas e a massa específica, verificou um alto nível de associação estatística entre a massa específica e as propriedades de resistência à flexão estática, como o módulo de ruptura e o módulo de elasticidade.

Para madeiras utilizadas em componentes de móveis com elevado esforço, como peças de cadeiras, camas, mesas, estantes, bancos e sofás, ASHLEY e OZARSKA (2000) recomendaram um material que apresentasse valores de 80.000 a 120.000 kgf/cm<sup>2</sup> para módulo de elasticidade, e valores próximos de 800 kgf/cm<sup>2</sup> para módulo de ruptura.

### 3.2.3 Compressão normal às fibras

O comportamento da madeira submetida a esforços de compressão apresenta variações consideráveis que decorrem da direção da força aplicada em relação à direção das fibras. Ela pode ser submetida à compressão de acordo com três solicitações: perpendicular, paralela ou inclinada em relação às fibras (CALIL, 1999), conforme apresentado na FIGURA 2.

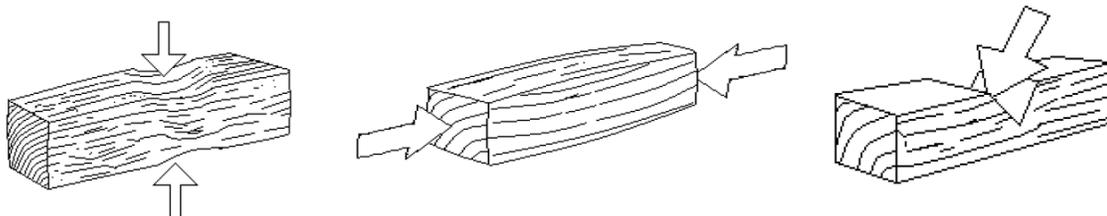


FIGURA 2 - A madeira pode ser submetida a testes de compressão perpendicular, paralela ou inclinada.

Fonte: a partir de CALIL (1999)

De acordo com SHI et al. (2007), em madeiras submetidas a tratamentos com temperaturas acima de 200°C, geralmente, a redução no módulo de elasticidade é menor que no módulo de ruptura. Há casos de folhosas em que o módulo de elasticidade pode aumentar em até 30% em relação à madeira não tratada.

Na compressão paralela às fibras, como as forças agem na mesma direção do comprimento das fibras da madeira, esta apresenta uma grande resistência, sendo esta propriedade utilizada principalmente para se dimensionar pilares (MELLO, 2007).

Na compressão perpendicular às fibras, ocorre a compactação das fibras e eliminação dos vazios, resultando no aumento de capacidade de carga da peça de madeira (MELO, 2002). No entanto, devido às altas deformações originadas, para efeito prático considera-se a resistência até o limite de proporcionalidade, sendo esta propriedade usada para dimensionamento de treliças, dormentes, etc. (MELLO, 2007).

A compressão inclinada age tanto paralelamente como perpendicularmente às fibras, sendo uma propriedade considerada para fins de dimensionamento (MELLO, 2007).

### 3.2.4 Tração normal às fibras

A madeira pode sofrer duas solicitações diferentes à tração: tração paralela e tração perpendicular às fibras, sendo que suas propriedades diferem consideravelmente em função destas solicitações (CALIL, 1999). A FIGURA 3 ilustra o comportamento da madeira à tração.

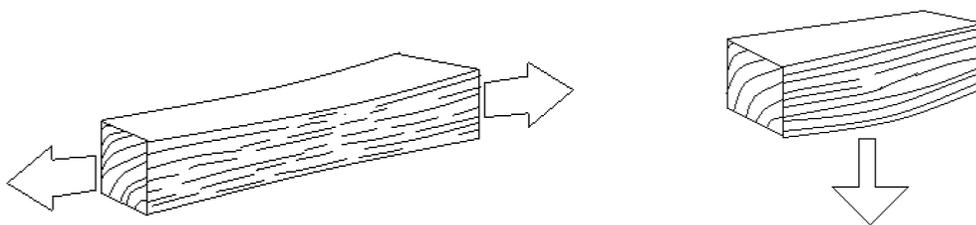


FIGURA 3 - A solicitação por tração pode se dar nas direções paralela e perpendicular às fibras da madeira.

Fonte: a partir de CALIL (1999)

A máxima resistência à tração se manifesta quando o esforço é paralelo às fibras, no entanto os ensaios são de difícil execução e pouco confiáveis devido à possibilidade de esmagamento das fibras do corpo-de-prova pelas garras do equipamento (MELO, 2002).

Quanto à tração perpendicular às fibras, a madeira apresenta baixos valores de resistência, e como os esforços agem tendendo a separar as fibras e afetando a integridade estrutural da peça, os resultados de ensaios apresentam grandes variações. Esta propriedade, que chega a apresentar valores quarenta vezes menores que os da tração paralela, é utilizada em estruturas em arco (FERNANDEZ-VILLEGA, 1983).

### 3.3 FATORES QUE AFETAM AS PROPRIEDADES DA MADEIRA

No processo produtivo do material madeira, inúmeras variáveis interagem influenciando as propriedades do produto final. As principais variáveis de influência e controle são a massa específica da madeira, densidade, dureza.

O controle destes fatores implica diretamente nas propriedades de resistência mecânica e estabilidade dimensional (KOLLMANN; KENZI; STAMM, 1975; TSOUMIS, 1991).

#### 3.3.1 ESPÉCIE

O conhecimento da espécie de madeira a ser utilizada no processo de produção madeireira é de fundamental importância, visto que a mesma pode exercer influências positivas e negativas no produto final.

De acordo com SILVA (2002), o desconhecimento das características das espécies pode transformar vantagens em desvantagens durante o seu processamento. MOURA (2000) complementou que algumas propriedades e características da madeira, e, conseqüentemente das espécies, limitam a sua utilização e podem, dependendo da solicitação, desqualificá-la, causando, em algumas situações, a substituição por outros materiais.

A propriedade mais importante referente à espécie é a sua massa específica (FOSTER, 1967; KELLY, 1977).

### 3.4 PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS DAS TRÊS ESPÉCIES ESTUDADAS

Segundo AMARAL et al. (1998), a Amazônia tem recursos florestais imensos equivalentes a um terço das florestas tropicais do mundo. A região produz 75% da madeira em tora do Brasil, porém as exportações ainda são modestas (aproximadamente 4% do comércio global de madeiras tropicais), mas devem crescer com a exaustão das florestas asiáticas.

Notória por sua alta biodiversidade acredita-se que exista mais de 4000 espécies de plantas em toda a sua extensão, entretanto, o mercado madeireiro utiliza uma parcela ínfima deste recurso, o que provoca grande pressão sobre um pequeno grupo de espécies e inviabiliza o manejo florestal como atividade econômica (GOUVEIA, 2008).

#### 3.4.1 Características e usos de Tauari-vermelho (*Cariniana micrantha* Ducke)

A ECOLOG (2010) afirmou que o uso de *Cariniana micrantha* Ducke é destinado a construção civil e naval, móveis, artigos decorativos, utensílios domésticos, brinquedos, instrumentos musicais, caixas, engradados, embalagens, peças encurvadas, marcenaria.

De acordo com MELO e CAMARGOS, S.D. (2003) a *Cariniana micrantha* Ducke é comercializada como cabo para rodo, vassoura e esfregão, cabo para utensílios domésticos (faca, canivete, talheres, cabo de panela e bandeja), cabo para utensílios de horta e jardim (cutelo, ancinho e sacho), guarda-sol, palito de fósforo, pequenos objetos como puxador, brinquedo, cinzeiro, cabide, prendedor de roupa, escova de lavar e tábua para bater carne, além de revestimentos em geral (forro e lambri).

SINDIMASP (2010) assegurou que a madeira de *Cariniana micrantha* Ducke oferece potencial de uso para a fabricação de cabos de ferramentas, caixotaria, marcenaria, construção civil e naval em geral.

Em geral, é comercializada em carpintaria e em marcenaria, tendo grande demanda no mercado interno e externo. Em Manaus, em 1998, o metro cúbico da madeira serrada foi comercializado a US\$ 250,00 a 300,00. Atualmente, é exportada para o Japão, Estados Unidos e Alemanha (CAMARGO et al., 2007).

#### 3.4.1.1 Características Gerais

A árvore é emergente ou codominante no dossel da floresta e pode atingir até 60m de altura com diâmetro (DAP) de 150 cm. Possui tronco cilíndrico possui base reta ou sapopemas baixas (até 50 cm de altura), a casca é externamente marrom-escura a cinza, com fissuras rasas e sem desprendimento. Em relação às características anatômicas a *Cariniana micrantha* Ducke apresenta cerne e alburno indistintos, branco-amarelado a marrom-amarelado-claro, anéis de crescimento pouco distintos, grã direta, textura média, brilho moderado, cheiro pouco perceptível e gosto levemente amargo ECOLOG (2010). O cerne/alburno é pouco distinto; espessura do alburno: 2,0 cm a 12,0 cm; cor do cerne: marrom-avermelhado-claro; alburno tem cor rosa; camadas de crescimento distintas; grã: direita; textura média; brilho moderado; cheiro imperceptível; resistência ao corte manual: macia; apresenta canais traumáticos (IBAMA, 2010).

Segundo o IBAMA (2010), *Cariniana micrantha* Ducke é classificada como madeira de resistência média-leve; aceita prego, exceto nos cantos. A secagem em estufa apresenta pequena tendência às rachaduras superficiais, encanoamento, torcimento e encurvamento médio.

Na madeira de *Cariniana micrantha* Ducke, CAMARGO et al. (2007) encontrou as seguintes características gerais para a espécie: o fruto é um pixídio de coloração marrom avermelhada; possui formato turbinado; o opérculo é deiscente e a columela é longa e triangular; o pericarpo é lenhoso e espesso, sendo externamente áspero, lenticelado e opaco e internamente liso, glabro e com depressões formadas pelas sementes. A semente angulosa, com superfície áspera e coloração marrom, mede 1,5 cm de comprimento e 0,7 cm de largura; possui ala unilateral membranácea, translúcida e marrom-clara, medindo 3,5cm de comprimento e 5 cm de largura. A plântula apresenta dois cotilédones opostos, simples,

foliáceos, lisos, glabros e com formato palmatilobado; as primeiras folhas são alternas e simples, com formato elíptico e margens crenuladas. No início do estabelecimento, os formatos distintos dos cotilédones e das primeiras folhas facilitam o reconhecimento da espécie no campo.

Segundo CAMARGO et al (2007), as sementes de *Cariniana micrantha* Ducke são ricas em proteínas e gorduras e sofrem intensa predação por pássaros e, principalmente, por macacos; após a dispersão, são suscetíveis a predação por formigas e roedores.

Segundo SINDIMASP (2010) a madeira de *Cariniana micrantha* Ducke apresenta parênquima visível apenas sob lente, pouco contrastado, composto por linhas finas, de aspecto irregular e muito numerosas, criando trama reticulada com os raios; camadas de crescimento percebidas por zonas fibrosas mais escuras.

Sua madeira é macia, moderadamente pesada, com densidade básica de  $0,58\text{g/cm}^3$ . Apresenta excelente acabamento superficial na plaina, na moldureira e na broca e bom acabamento na lixa e no torno. A madeira apresenta falhas devido a canais traumáticos que são característicos da espécie (MELO e CAMARGOS, S.D.) SINDIMASP (2010) complementa que a espécie apresenta uma densidade  $0,60\text{ g/cm}^3$ .

A madeira é o principal produto da espécie, sendo moderadamente pesada ( $0,55$  a  $0,60\text{g/cm}^3$ ) de cerne castanho-amarelado e alburno mais claro. É fácil de trabalhar, recebe bom acabamento de lustre regular e, com tratamento preventivo, a sua durabilidade pode ser aumentada. Apresenta secagem muito rápida, embora com leve tendência à rachadura superficial, encaçamento, torcimento e encurvamento (CAMARGO et al., 2007).

#### 3.4.1.2 Áreas de ocorrência

A espécie é típica de florestas maduras de terra-firme da Amazônia Central, sendo encontrada nos estados do Amazonas, Pará e Rondônia. Ocorre em áreas de solos argilosos, pobres em nutrientes, bem estruturados e bem drenados, com precipitação anual de 1.500-2.500mm e temperatura média anual entre  $24^\circ\text{C}$  e  $32^\circ\text{C}$ .

#### 3.4.2 Características e usos de Pequiarana (*Caryocar glabrum*)

Os principais usos da madeira de *Caryocar glabrum* são para a produção de dormentes, armações de cavernas de embarcações, tanoaria, marcenaria, estacas, vigas,

caibros, ripas, tábuas, tacos para assoalhos, marcos de portas e janelas, postes, esteios, mourões (SINDIMASP, 2010)

De acordo com MATOS (2007) a madeira de *Caryocar glabrum* é comercializada como dormentes, assim como armações de cavernas de embarcações, tanoaria, marcenaria, vigas, caibros, ripas, tábuas, tacos para assoalhos, marcos de portas e janelas, postes, esteios, mourões confirmando assim as informações obtidas pela SINDIMASP (2010).

#### 3.4.2.1 Características Gerais

A *Caryocar glabrum* é uma espécie que pertence à Família Caryocaraceae, sendo conhecida popularmente como Pequiariana.

De acordo com IBAMA (2010), a madeira *Caryocar glabrum* é também conhecida Cabeleira, Jiqui, Pequi, Pequiá, Pequiariana, Piqui, Piquiá, Piquiá-bravo, Piquiá-da-areia, Piquiarana, Piquiarana-da-terra, Piquiarana-da-terra-firme, Piquiarana-vermelha, Piquiá-verdadeiro, Vinagreiro.

Árvore grande, por vezes atingindo até 50 m de altura, com pesada galharia. Possui tronco cilíndrico, reto. Apresenta folhas compostas, opostas, pecioladas, 2-estipuladas com três folíolos peciolulados com ou sem estipelas; folíolos elípticos de ápice curtamente acuminado, base obtusa ou arredondada; margem denteada, raramente Inteira, glabros ou com pequenos tufo de pelos nas axilas das nervuras secundárias (SINDIMASP, 2010).

De acordo com MATOS (2007) a *Caryocar glabrum* apresenta tronco cilíndrico, reto, folhas compostas, opostas, pecioladas, estipuladas com 3 folíolos peciolulados com ou sem estipelas. Folíolos elípticos de ápice curtamente acuminado, base obtusa ou arredondada; margem denteada, raramente Inteira, glabros ou com pequenos tufo de pelos nas axilas das nervuras secundárias. Inflorescência terminal com flores amarelas; estames numerosos, vermelhos ou avermelhados. Em relação às características anatômicas o cerne/alburno são indistintos; apresenta cor amarelo-pálido; grã revessa; textura média; ausente de brilho; cheiro imperceptível; apresenta resistência ao corte manual, moderadamente dura.

De acordo com IBAMA (2010) apresenta 62,90 cm de diâmetro à altura do peito (DAP). Possui tronco retilíneo/tortuoso. A secagem realizada em estufa é classificada como moderadamente rápida com o tempo de 9,1 dias, apresentando pequena tendência ao encanoamento médio, e às rachaduras superficiais e torcimento fortes. Apresenta moderada

tendência ao encurvamento médio e grande tendência às rachaduras de topo fortes. Classificada como madeira média-leve com aceitação de prego.

A MADEIREIRA GUIMARÃES (2010) a madeira *Caryocar glabrum* é excelente para aplainar, boa para tornear e furar, ruim para lixar, muito resistente ao ataque de organismo xilógrafos, baixa permeabilidade às soluções preservativas, mesmo em tratamentos sob pressão. A madeira de *Caryocar glabrum* é utilizada para dormentes, armações de cavernas de embarcações, tanoaria, marcenaria, estacas, vigas, caibros, ripas, tábuas, tacos para assoalhos, marcos de portas e janelas, postes, esteios, mourões.

SINDIMASP (2010) relata que a densidade da madeira de *Caryocar glabrum* varia de (0,75 a 0,90 g/cm<sup>3</sup>) classificando-a como madeira pesada.

Segundo MATOS (2007) relata que a madeira de *Caryocar glabrum* é uma madeira pesada com alborno pouco diferenciado do cerne bege amarelado; grã regular; textura média e o cheiro, quando recém-cortado é semelhante a vinagre; gosto indistinto.

### 3.4.3 Breu-vermelho

*Protium puncticulatum* J.F.Macbr. é uma espécie que pertence à Família Burseraceae sendo conhecida popularmente como Breu-vermelho (FILHO; CHIMELO; GARCIA, 1983).

A madeira de *Protium puncticulatum* J.F.Macbr. apresenta densidade que varia 0,50 - 0,60 g/cm<sup>3</sup> e é classificada como madeira moderadamente pesada; apresenta cerne bege rosado brilhante; grã regular; textura média, cheiro e gosto indistintos (FILHO; CHIMELO; GARCIA, 1983).

## 3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A estatística é uma ferramenta matemática que se baseia nas teorias probabilísticas para explicação de eventos, estudos e experimentos. Apresenta como objetivo a organização, análise de dados e determinação das correlações, proporcionando descrição e explicação do que aconteceu e previsão e organização do futuro (ANDRADE, 2006).

Inicialmente os dados obtidos foram analisados estatisticamente por meio de análise de variância (ANOVA), seguida de teste de Tukey a 5% para verificar a existência de diferenças significativas entre as espécies de madeira e suas seções.

### 3.5.1 Análise de Variância

De acordo com TRIANOSKI (2009), a principal e mais importante técnica utilizada para a solução de problemas é a Análise de Variância. É um método suficientemente robusto para identificar diferenças entre as médias populacionais devidas a várias causas, atuando simultaneamente sobre os elementos da população (COSTA NETO, 2002). ANDRADE (2006) complementou que é uma maneira tradicional de avaliar o efeito ou influência de um determinado fator sobre um conjunto de dados, e SCHNEIDER e SOUZA (2009) concluem que se constitui no procedimento estatístico básico mais usado em todas as situações de análise dados.

A anova ou aceita ou rejeita a hipótese de nulidade. Quando o modelo que está sendo testado apresenta pouco poder de previsão, ou não há evidências para rejeitar a hipótese de igualdade entre as médias, então a análise é finalizada e se conclui que o fator que está sendo investigado não produz efeito nenhum sobre a variável de resposta. Entretanto quando se rejeita a hipótese de igualdade, afirma-se que ocorre apenas uma desigualdade, e essa conclusão na maioria dos casos não é suficiente para o pesquisador, que deseja saber de que modo ocorre esta desigualdade (BUSSAB; MORETTIN, 2002).

Desta forma, para responder questionamentos desta natureza se utiliza teste de comparação de médias, onde o Teste de Tukey é o mais utilizado (ANDRADE, 2006).

### 3.5.2 Teste de Comparação de Médias

Considerando que a hipótese de nulidade é rejeitada em uma análise de variância, é possível identificar pares de médias diferentes estatisticamente. Neste sentido, uma das ferramentas estatísticas mais utilizadas para esta verificação é o teste de comparação de médias, onde geralmente o Teste de Tukey é o mais utilizado (ANDRADE, 2006).

O Teste de Tukey pode ser utilizado para comparar todo e qualquer contraste entre duas ou mais médias de tratamentos (GOMES, 1976).

Em seus estudos, PETERSEN (1977) verificou que 40% dos autores pesquisados utilizaram em suas análises, algum tipo de teste de comparação de médias. De acordo com o mesmo autor, os testes de comparação de médias (Tukey, Bonferroni, etc.) são apropriados para situações em que os tratamentos são níveis de fator qualitativo e não relacionados.

### 3.5.3 Coeficiente de variação (CV)

Geralmente, a variação dos dados experimentais pode ser expressa por três medidas de dispersão: o erro-padrão da média, a variância ( $s^2$ ) ou desvio-padrão ( $s$ ), e o coeficiente de variação (CV).

O coeficiente de variação, definido como o desvio-padrão em porcentagem da média, é a medida estatística mais utilizada pelos pesquisadores na avaliação da precisão dos experimentos. Ele tem a vantagem de permitir a comparação da precisão entre experimentos, sem a necessidade de igualdade de unidades. Entretanto, PIMENTEL-GOMES (1991) salienta que o número de repetições influi nos valores de CV, sobretudo pelo fato de que, mesmo havendo um experimento com coeficiente de variação maior em relação a outro, que, porém, possui menor número de repetições, aquele com maior CV seria considerado mais preciso. O autor sugere como alternativa a utilização do índice de variação, que é a relação entre o CV e a raiz quadrada do número de repetições.

Por ser uma medida relativa, o CV possuirá valores muito semelhantes em um grande grupo de experimentos, se, em cada um desses, o desvio-padrão for diretamente proporcional à produtividade média individual (MEAD e CURNOW, 1983). Estes mesmos autores lembram, entretanto, que o pesquisador deve ter cuidado, pois o CV é uma medida sem sentido no caso em que as observações experimentais envolvam valores positivos e negativos.

Segundo GOMES (1985), o coeficiente de variação dá ideia da precisão do experimento, eles são classificados em baixos, quando menores do que 10%; médios, quando de 10 a 20%; altos, quando de 20 a 30% e muito altos, quando maiores do que 30%. Essa medida de precisão tem a vantagem de permitir a comparação entre experimentos, sem a necessidade de igualdade de unidades.

Entretanto, GOMES (1991) salientou que o número de repetições influi nos valores do CV, sobretudo pelo fato de que, mesmo havendo um experimento com coeficiente de variação maior em relação a outro, que, porém, possui menor número de repetições, aquele com maior coeficiente de variação seria mais preciso. Além disso, a classificação é muito abrangente e não leva em consideração particularidades da espécie estudada, e, principalmente, não faz distinção entre a natureza da instabilidade da resposta avaliada (GARCIA, 1989; SCAPIM et al., 1995; COSTA et al., 2002).

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 IDENTIFICAÇÕES DAS ESPÉCIES DO ESTUDO

As espécies de madeira do presente estudo foram Breu-vermelho, Pequiarana e Tauari-vermelho exploradas em áreas de manejo florestal da empresa Precious Woods Amazon (Mil Madeiras Preciosas) localizada no município de Itacoatiara – AM e são apresentadas na TABELA 1, juntamente com o nome científico e família.

A denominação das espécies pela empresa Precious Woods Amazon (Mil Madeiras Preciosas) não foram identificadas em laboratório, ou seja, por meio de exsicatas (folhas, flores, frutos, etc.) e sim, receberam a denominação botânica a partir do reconhecimento em campo pelo nome comum, fornecido por “mateiros”, porém foi realizado uma identificação da denominação botânica ou nome científico no laboratório de física da madeira da Universidade Federal do Amazonas.

### 4.2 DESCRIÇÕES DO LOCAL E AMOSTRAGEM DO MATERIAL

#### 4.2.1 Descrição do local

A área de coleta das espécies está localizada no município de Itacoatiara – AM e apresentado na TABELA 1. O clima do município de Itacoatiara - AM é o característico da região tropical, quente, chuvoso e úmido com duas estações bem definidas: Inverno (época de chuvas) e verão (época de calor intenso). A temperatura anual é de 28°C.

TABELA 1 - Localização das espécies em estudo

Espécie	Nome científico	Latitude (S)	Longitude (W)
Breu-vermelho	<i>Protium puncticulatum</i> J.F.Macbr.	-3° 1' 47,17"	-58°47' 00,91"
Pequiarana	<i>Caryocar glabrum</i>	-3° 2' 00,71"	-58°46' 45,32"
Tauari-vermelho	<i>Cariniana micrantha</i> Ducke	-3° 2' 08,66"	-58°46' 38,02"

Fonte: Precious Woods Amazon (Mil Madeiras Preciosas, 2009).

#### 4.2.2 Amostragem do material em campo

A amostragem do material foi proveniente da coleta de uma (1) árvore por espécie. Os dados dendrométrico dos indivíduos podem ser visualizados na TABELA 2.

TABELA 2 - Dados dendrométrico das toras de Breu-vermelho, Pequiarana e Tauari-vermelho

Espécie	DAP (cm)	Comp (m)	QF	G	Vol (m <sup>3</sup> ) <sup>1</sup>	Vol (m <sup>3</sup> ) <sup>2</sup>
Breu-vermelho	55	17,64	1	0,2376	2,02	3,649
Pequiarana	57	14,12	1	0,2552	2,68	3,226
Tauari-vermelho	80	14	1	0,5027	8,98	7,077

DAP - Diâmetro a altura do peito; Comp- Comprimento; g - Área basal; QF – Qualidade de fuste; Vol.- Volume; <sup>1</sup> volume obtido com dados de inventário; <sup>2</sup> volume obtido com romaneio.

Fonte: Dados da pesquisa (2010).

De cada árvore selecionada foi coletado o dado de comprimento medido no pátio de estocagem da empresa Precious Woods (Mil Madeiras Preciosas) com o auxílio de uma trena (FIGURA 4). Logo após realizou-se a demarcação das seções dos indivíduos com o auxílio de giz de cera em posições equidistantes em relação ao comprimento dos indivíduos. A tora de Breu-vermelho com um comprimento total de 17,64 (m), a tora de Pequiarana com comprimento de 14,12 (m) e a tora de Tauari-vermelho com comprimento de 11,67 (m).



FIGURA 4 - Medição de comprimento de toras

Fonte: Dados da pesquisa (2010)

Conforme visualizada na FIGURA 5, as toras seccionadas, marcadas respectivamente, foram submetidas a um novo seccionamento, sendo gerados a partir de cada uma delas cinco (5) discos à espécie Breu-vermelho e quatro (4) discos as espécies Tauari-vermelho e

Pequiarana de aproximadamente 5 (cm) e encaminhadas a serraria do Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia.



FIGURA 5 - Secção de discos da espécie de Tauari-vermelho  
Fonte: Dados da pesquisa (2010)

A FIGURA 6, as toras de Breu-vermelho tornaram-se cinco seções equidistantes (3,52 m) de seções das toras A (19,95%), B (39,9%), C (59,85%), D (79,8%), E (99,75%), sendo que as toras de Pequiarana e Tauri-vermelho tornaram-se quatro seções equidistantes.



FIGURA 6—Seções das espécies em estudo  
Fonte: Dados da pesquisa (2010)

De acordo com a FIGURA 7, as seções de toras foram transportadas a serraria da empresa Precious Woods Amazon (Mil Madeiras Preciosas) e desdobradas em pranchões em um serra-fita e posterior a canteadeira (FIGURA 8 e 9) para realizar a confecção de peças de medidas de espessura 50 cm, largura 120 cm e comprimento 150 cm. Depois foram as estufas da empresa Precious Woods Amazon (Mil Madeiras Preciosas) para o programa de secagem. Também se realizou os mesmos procedimentos às toras de Tauari-vermelho e Pequiarana. Segue abaixo as informações dendrométricas das toras de Breu-vermelho, Pequiarana e Tauari-vermelho.



FIGURA 7 - Discos de espécies em estudo e Transporte de seções à serraria  
Fonte: Dados da pesquisa (2010)



FIGURA 8- Desdobramento das toras em serra-fita  
Fonte: Dados da pesquisa (2010)



FIGURA 9 - Desdobramento das toras em canteadeira  
Fonte: Dados da pesquisa (2010)

### 4.2.3 Confeção dos corpos-de-prova

Os corpos de prova de ensaios físicos e mecânicos foram confeccionados na Marcenaria do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia conforme esquema na FIGURA 10.

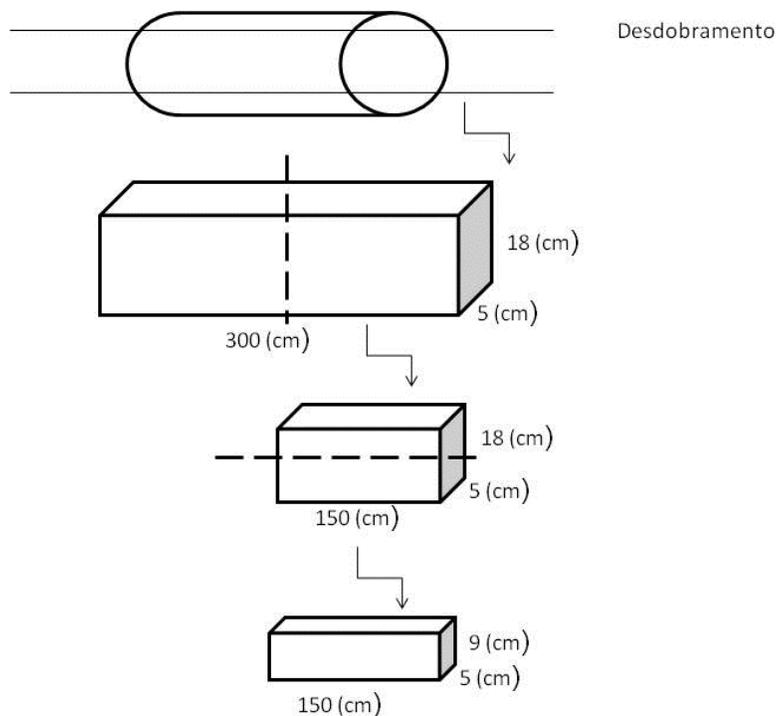


FIGURA 10 - Esquema de amostragem do experimento

Fonte: Dados da pesquisa (2010)

Em seguida os corpos de prova foram transportados para o Laboratório de Tecnologia da Madeira da Universidade Federal do Paraná (FIGURA 11), e acondicionados em câmara climática (FIGURA 12) com condições ambientais controladas ( $20\pm 2^{\circ}\text{C}$  e  $65\pm 5\%$  UR) para manutenção da umidade equilíbrio. A FIGURA 13 apresenta as dimensões dos corpos-de-prova das propriedades físicas e a FIGURA 14 apresenta as dimensões dos corpos-de-prova mecânicas avaliadas.



FIGURA 11 - Laboratório de Tecnologia da Madeira da UFPR

Fonte: Dados da pesquisa (2010)



FIGURA 12 - Sala de climatização e Climatização dos corpos de prova

Fonte: Dados da pesquisa (2010)

### Propriedades Físicas

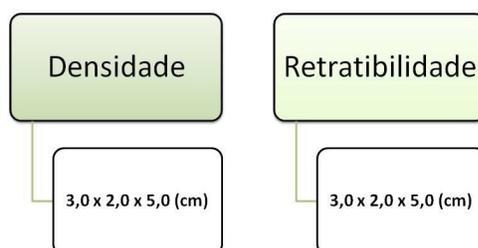


FIGURA 13 – Dimensões de corpos de prova para os ensaios físicos (NBR-7190:1997)

Fonte: Dados da pesquisa (2010)

## Propriedades Mecânicas

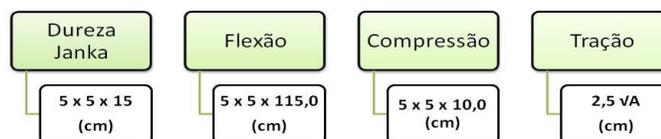


FIGURA 14 – Dimensões de corpos de prova para os ensaios mecânicos (NBR-7190:1997)

Fonte: Dados da pesquisa (2010)

### 4.3 PROPRIEDADES FÍSICAS

Os testes físicos realizados foram de densidade aparente e retratibilidade. Para a verificação da umidade de equilíbrio, as amostras foram conduzidas a estufa com circulação de ar forçada a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  até peso constante e em seguida foram novamente pesadas.

#### 4.3.1 Densidade

Para a determinação da densidade aparente ( $\rho_{ap(12\%)}$  e a  $\rho_{ap(0\%)}$ ) foram utilizados cinco (5) discos de cada torete da espécie Breu-vermelho, um (1) disco de cada torete da espécie Pequiarana totalizando quatro (4) discos, quatro (4) discos de cada torete da espécie Tauari-vermelho, todos com cinco centímetros de espessura, conforme a FIGURA 15-16.



FIGURA 15 – Discos de Tauari-vermelho e Pequiarana

Fonte: Dados da pesquisa (2010)



FIGURA 16 – Discos de Breu-vermelho

Fonte: Dados da pesquisa (2010)

As medições realizadas foram às dimensionais de base, largura e espessura com o auxílio de paquímetro digital, e medidas de massa dos corpos de prova com auxílio da balança digital, obtendo-se desta forma a propriedade de densidade aparente (FIGURA 17).



FIGURA 17 - Balança Ohaus Adventurer 3,1 kg e Paquímetro digital Mitutoyo 0-200 (mm), resolução 0,01(mm).

Fonte: Dados da pesquisa (2010)

Os procedimentos referentes à coleta de dados do volume e massa a 12% seguiram as recomendações do Anexo B da Norma NBR 7190:1997 .

A densidade aparente a 12% foi calculada utilizando a seguinte relação:

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

$\rho_{ap}$ : Densidade aparente ( $\text{g/cm}^3$ );  $m_{(12\%)}$  é a massa da madeira a 12%, em gramas;  
 $V_{(12\%)}$  é o Volume a 12% de umidade em  $\text{cm}^3$

#### 4.3.2 Retratibilidade

Para a determinação da retratibilidade foi utilizado uma (1) peça de madeira de cada seção por espécie. Foram realizadas duas medidas sucessivas da base, largura e espessura dos corpos de prova e também determinada a massa das amostras com o objetivo de calcular sua umidade e densidade ( $\text{g/cm}^3$ ) conforme procedimentos da norma NBR 7190:1997.

#### 4.4 PROPRIEDADES MECÂNICAS

Os ensaios mecânicos de dureza janka, flexão estática, compressão perpendicular as fibras foram realizados no Laboratório de Propriedades Físicas e Mecânicas da Madeira da UFPR, em Curitiba, PR de acordo com os procedimentos preconizados pela Norma NBR 7190:1997 e testados através de uma maquina universal de testes Máquina Universal de Ensaio Emic, com capacidade para 300KN (30.000 kgf) conforme visualizado na FIGURA 18. O ensaio de tração perpendicular às fibras foi realizado em uma Máquina Universal de Ensaio Emic, com capacidade para 300KN (30.000 kgf). Posterior as ensaios realizados as amostras foram colocadas em estufa, com temperatura de  $103\pm 2^\circ\text{C}$ , para a sua completa secagem ao teor de umidade ao ponto de atingir 0%. Posterior à secagem, foi realizado uma nova medição de massa das amostras.

Para a confecção de corpos-de-prova para realização dos ensaios mecânicos foram utilizados peças de madeira de cada seção por espécie.

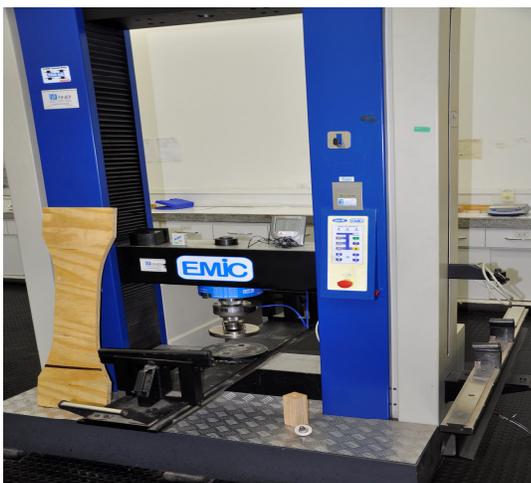


FIGURA 18 - Máquina Universal de Ensaio Emic

Fonte: Dados da pesquisa (2010)

#### 4.4.1 Dureza

Para a determinação da dureza pelo método de Janka foram utilizados peças de madeira de cada seção por espécie. As peças foram seccionadas em amostras de forma prismáticas de seção quadrada de 5 cm e comprimento ao longo das fibras 15 cm, como indicados conforme a FIGURA 19. Em seguida realizaram-se duas medidas sucessivas da base, largura e espessura dos corpos de prova e também se determinou a massa das amostras no estado seco a 12% com o objetivo de calcular sua densidade (ou massa específica) e a umidade de equilíbrio.

Em cada amostra foram feitas seis aplicações de carga através de uma semiesfera metálica cuja projeção tem 1 cm<sup>2</sup>.

Para a determinação da Dureza Janka, considerou-se como resultado médio final, a média das cargas máximas correspondentes aos extremos e faces das amostras de cada árvore e seção dos indivíduos em estudo.

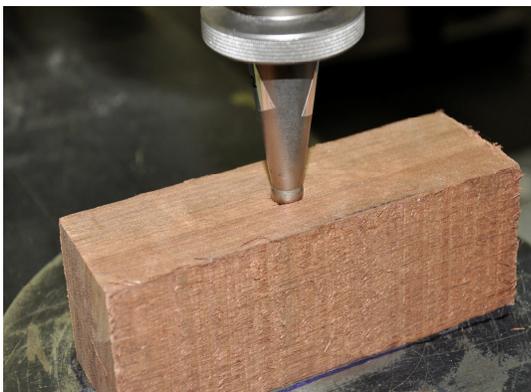


FIGURA 19- Ensaio de dureza a espécie Tauari-vermelho

Fonte: Dados da pesquisa (2010)

#### 4.4.2 Flexão Estática

No ensaio de flexão estática (FIGURA 20), os corpos-de-prova foram vinculados a dois apoios articulado móveis, com vão livre de 1,050 mm (ou 105,0 cm) sendo o equilíbrio do sistema garantido pelo atrito com o atuador. O carregamento foi monotônico crescente, com uma taxa de 10 MPa/min. Realizaram-se nos corpos de prova de flexão estática medições de base, largura e espessura dos corpos de prova e também se determinou a massa das

amostras no estado seco a 12% com o objetivo de calcular sua densidade (ou massa específica) e a umidade de equilíbrio.



FIGURA 20- Ensaio de flexão com a espécie Breu-vermelho

Fonte: Dados da pesquisa (2010)

De acordo com a NBR 7190/1997 a rigidez da madeira à flexão foi caracterizada pelo módulo de elasticidade determinado no trecho linear do diagrama carga x deslocamento, indicado na FIGURA 21.

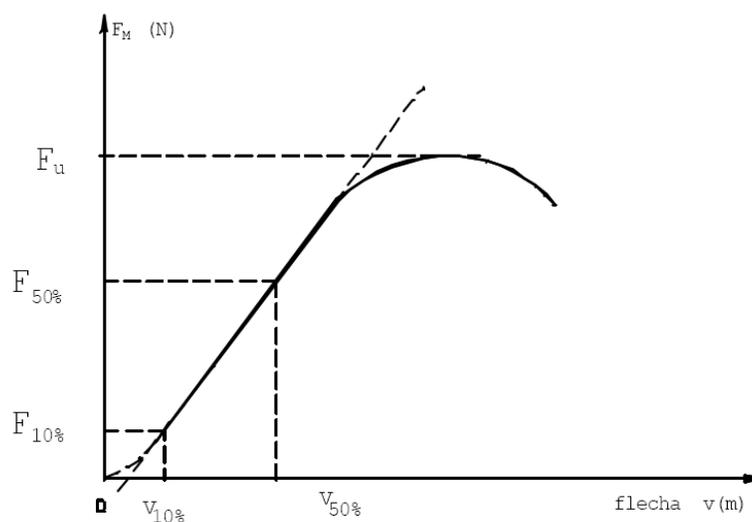


FIGURA 21 – Diagrama carga x flecha na flexão.

Fonte: NBR 7190/1997

Neste contexto, para esta finalidade o módulo de elasticidade deve ser determinado pela inclinação da reta secante à curva carga x deslocamento no meio do vão definido pelos

pontos ( $F_{10\%}; v_{10\%}$ ) e ( $F_{50\%}; v_{50\%}$ ) correspondentes, respectivamente, a 10% e 50% da carga máxima de ensaio estimada por meio dos corpos de prova, sendo dado por:

$$E_{M0} = \frac{(F_{M,50\%} - F_{M,10\%}) L^3}{(V_{50\%} - V_{10\%}) 4 bh^3}$$

Onde:  $F_{M,50\%} - F_{M,10\%}$  são as cargas correspondentes a 10% e 50% da carga máxima estimada, aplicada ao corpo de prova, em Newton.

$V_{50\%} - V_{10\%}$  são os deslocamentos no meio do vão correspondentes a 10% e 50% da carga máxima estimada  $F_{M, est}$ , em metros.

$b$  e  $h$  correspondem, respectivamente, à largura e à altura da seção transversal do corpo-de-prova, em metros.

A resistência da madeira à flexão ( $f_{wM}$  ou  $f_M$ ) é um valor convencional, dado pela máxima tensão que pode atuar em um corpo-de-prova no ensaio de flexão calculado com a hipótese de a madeira ser um material elástico (NBR 7190:1997), sendo dado por:

$$f_M = \frac{M_{Max}}{W_e}$$

Onde:

$M_{Max}$  é o máximo momento aplicado ao corpo-de-prova, em Newton-metro.

$W_e$  é o módulo de resistência elástico da seção transversal do corpo-de-prova, dado por  $bh^2/6$ , em  $cm^3$ .

O valor característico da resistência convencional à flexão  $f_{M,k}$  deve ser determinado pelo estimador dado na figura

#### 4.4.3 Compressão normal às fibras

Para a realização do ensaio de compressão (FIGURA 22) aplicou-se uma carga perpendicular às fibras que comprime a madeira que repousa sobre uma base com resistência muito superior à da madeira sendo ensaiada. Dessa forma a madeira tendeu a amassar o que efetivamente ocorre quando se ultrapassa o seu limite de elasticidade.

Realizaram-se medidas sucessivas de largura e espessura e uma medida de altura dos corpos de prova além da determinação da massa das amostras no estado seco a 12% com o objetivo de calcular sua densidade (ou massa específica) e a umidade de equilíbrio.

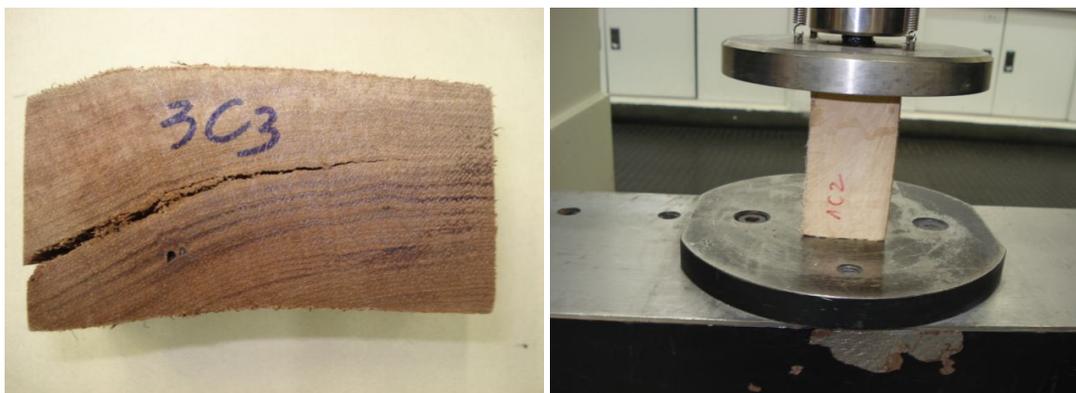


FIGURA 22 – Amostra do corpo de prova de compressão após o ensaio e ensaio de compressão.

Fonte: Dados da pesquisa (2010)

A resistência à compressão normal às fibras ( $f_{wc,90}$  ou  $f_{c90}$ ) foi obtida a partir do valor convencional determinado pela deformação específica residual de 2%, obtida em um ensaio de compressão uniforme e a rigidez da madeira na direção normal às fibras foi determinada por seu módulo de elasticidade. Para esta finalidade o módulo de elasticidade foi determinado pela inclinação da reta secante à curva tensão x deformação específica pelos pontos ( $\sigma_{10\%}$ ;  $\epsilon_{10\%}$ ) e ( $\sigma_{50\%}$ ;  $\epsilon_{50\%}$ ) correspondentes, respectivamente, a 10% e 50% da resistência convencional à compressão normal as fibras  $f_{c90}$ , sendo dado por:

$$E_{c90} = \frac{\sigma_{50\%} - \sigma_{10\%}}{\epsilon_{50\%} - \epsilon_{10\%}}$$

Onde:

$\sigma_{10\%}$  e  $\sigma_{50\%}$  são as tensões de compressão normal correspondente a 10% e 50% da resistência convencional  $f_{c90}$ .

$\epsilon_{50\%} - \epsilon_{10\%}$  são as deformações específicas medidas na direção normal as fibras correspondentes às tensões  $\sigma_{10\%}$  e  $\sigma_{50\%}$ .

Para a determinação do módulo de elasticidade foram utilizados relógios comparadores, com exatidão de 0,001 mm, para as medidas das deformações totais do corpo-de-prova. Destas medidas foram descontadas deformações intrínsecas da máquina de ensaio.

A medida de deformações específica foram realizadas com extensômetros com exatidão mínima de 50  $\mu\text{m/m}$ . O carregamento foi monotônico crescente correspondente a uma taxa de 10MPa/min.

Para a determinação da rigidez, a resistência da madeira foi estimada  $f_{c90, est}$ , o carregamento foi aplicado com dois ciclos de carga e descarga. A taxa de carregamento foi de 10MPa/min.

#### 4.4.4 Tração normal às fibras

Realizaram-se medidas de largura e altura dos corpos de prova e também se determinou a massa das amostras com o objetivo de determinar a umidade de equilíbrio.

Para o ensaio de tração normal às fibras (FIGURA 23) foi utilizada a metodologia preconizada pela Norma NBR 7190:1997, com carregamento monotônico crescente, correspondente a uma taxa de 2,5 MPa/min.



FIGURA 23- Ensaio de tração normal às fibras e Amostras de tração em estufa para secagem a 0%.

Fonte: Dados da pesquisa (2010)

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 PROPRIEDADES FÍSICAS

#### 5.1.1 Densidade Aparente

Sabe-se que, quanto mais pesada à madeira, melhor a sua resistência, porém devemos tomar certo cuidado, pois o peso específico é diretamente proporcional ao conteúdo de umidade (LAROCA, 2002).

A TABELA 3 apresenta os valores da densidade média aparente a 0% e 12% de umidade das espécies Breu-vermelho, Pequiarana e Tauari-vermelho.

A análise de variância mostrou haver diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade, tanto nos tratamentos de Densidade Aparente a 0% ( $\rho_{ap0\%}$ ) quanto nos tratamentos de Densidade Aparente a 12% ( $\rho_{ap12\%}$ ).

Observando a TABELA 3, nota-se que o maior valor médio de  $\rho_{ap0\%}$  e  $\rho_{ap12\%}$  está localizado na espécie Pequiarana.

TABELA 3 - Valores médios de densidade aparente a 0% e 12% de umidade respectivamente para as três espécies estudadas.

Espécie	N	$\rho_{ap(0\%)}^*$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_{ap(12\%)}^*$ (g/cm <sup>3</sup> )
Breu-vermelho	30	0,468 c	0,525 c
Pequiarana	30	0,736 a	0,812 a
Tauari-vermelho	30	0,677 b	0,761 b

$\rho_{ap(0\%)}$  = Densidade aparente a 0% de umidade (g/cm<sup>3</sup>);  $\rho_{ap(12\%)}$  - Densidade aparente a 12% de umidade (g/cm<sup>3</sup>); N - Número de corpos-de-prova ensaiados.

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Dados da pesquisa

\* Transformados para g/cm<sup>3</sup> para serem comparados.

De acordo com o TARCISIO (2008), avaliando o gênero *protium*, encontrou uma densidade de 0,55 – 0,70 g/cm<sup>3</sup>. Neste estudo a espécie do gênero *protium* analisada foi o Breu-vermelho (*Protium puncticulatum* J.F. Macbr) apresentando a densidade aparente a 12% valor próximo (0,525 g/cm<sup>3</sup>) o que ratifica os resultados encontrados.

O LPF/IBAMA (2010), avaliando a espécie Pequiarana, determinou a densidade aparente média de 0,78 g/cm<sup>3</sup>. Neste estudo a densidade aparente a 12% de umidade apresentou um valor superior (0,812 g/cm<sup>3</sup>) ao acima mencionado e a 0% de umidade

apresentou valor menor ( $0,736 \text{ g/cm}^3$ ) ao mencionado. Ainda LPF/IBAMA (2010), avaliando a espécie Tauari-vermelho, determinou uma densidade aparente média de  $0,68 \text{ g/cm}^3$ . Neste estudo a densidade aparente a 0% de umidade aproximou-se ao valor de  $0,677 \text{ g/cm}^3$  e a 12% de umidade apenas a seção A da espécie Tauari-vermelho apresentou valor aproximado  $0,712 \text{ g/cm}^3$ .

A Pequiarana e Tauari-vermelho foram classificadas como madeira pesada, com densidade acima de  $0,72 \text{ g/cm}^3$  e a espécie Breu-vermelho foi classificada como madeira medianamente macia com densidade entre  $0,5$  a  $0,72 \text{ g/cm}^3$  conforme resultados apresentados na TABELA 3. A espécie Pequiarana apresentou a maior densidade e coeficiente de variação, porém não diferindo estatisticamente da espécie Tauari-vermelho ao nível de 5% de probabilidade (TABELA 3).

#### 5.1.1.1 Densidade Aparente a 12% de umidade das seções da espécie Breu-vermelho

Em função da densidade as madeiras podem ser classificadas como leve, média e pesada (LPF/IBAMA, 2010). Comparando as seções do Breu-vermelho a densidade aparente apresentou valores médios entre  $0,516$  a  $0,706 \text{ g/cm}^3$  classificando em todas as suas seções como madeira medianamente macia com densidade entre  $0,5$  e  $0,72 \text{ g/cm}^3$  (TABELA 4).

TABELA 4 - Valores médios da densidade aparente obtida para a espécie Breu-vermelho

Breu-vermelho	N	$\rho_{\text{ap}(12\%)}$	Desvio Padrão ( $\sigma$ )	Coefficiente de Variação (%)	Mínimo	Máximo
A	24	0,5711 b	0,0404	7,0755	0,5204	0,6364
B	24	0,5658 b	0,0228	4,0435	0,5185	0,5996
C	24	0,5551 b	0,0230	4,1477	0,5165	0,5953
D	24	0,6484 a	0,0301	4,6512	0,6033	0,7063

$\rho_{\text{ap}(12\%)}$  - Densidade aparente a 12% de umidade ( $\text{g/cm}^3$ ); N - Número de corpos-de-prova ensaiados. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Dados da pesquisa

\* Transformados para  $\text{g/cm}^3$  para serem comparados.

#### 5.1.1.2 Densidade Aparente a 12% de umidade das seções da espécie Pequiarana

Em função da densidade aparente os resultados de valores médios das seções da Pequiarana (TABELA 5) foram comparados aos resultados do LPF/IBAMA (2010), classificando-as como medianamente macia com densidade entre  $0,5$  e  $0,72 \text{ g/cm}^3$  a madeira

pesada com densidade acima de  $0,72 \text{ g/cm}^3$  e a espécie foi classificada como espécie de madeira dura com densidade acima de  $0,72 \text{ g/cm}^3$ .

A seção A e D da Pequiarana apresentaram os resultados de valores médios de densidade aparente superiores as demais seções e diferindo estatisticamente da das seções B e C ao nível de 5% de probabilidade apresentados na TABELA 5.

TABELA 5 - Valores médios da densidade aparente obtida para a espécie Pequiarana

Pequiarana	N	$\rho_{ap(12\%)}$	Desvio Padrão ( $\sigma$ )	Coefficiente de Variação (%)	Mínimo	Máximo
A	24	0,8091 a	0,0163	2,0253	0,779	0,832
B	24	0,7794 b	0,0550	7,0602	0,526	0,818
C	24	0,7820 b	0,0289	3,7071	0,737	0,831
D	24	0,8206 a	0,0267	3,2575	0,7700	0,865

$\rho_{ap(12\%)}$  - Densidade aparente a 12% de umidade ( $\text{g/cm}^3$ ); N - Número de corpos-de-prova ensaiados. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Dados da pesquisa

\* Transformados para  $\text{g/cm}^3$  para serem comparados.

### 5.1.1.3 Densidade Aparente a 12% de umidade das seções da espécie Tauari-vermelho

Conforme TABELA 6, para a densidade aparente a 12% de umidade as médias das seções de Tauari-vermelho diferiram estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade.

As seções B, C e D de Tauari-vermelho são classificadas como madeira dura, pois apresentaram valores médios de densidade aparente superiores a  $0,72 \text{ g/cm}^3$  comparando aos resultados do LPF/IBAMA (2010) enquanto a seção A é classificada como madeira leve com valores médios de densidade aparente entre 0,5 e  $0,72 \text{ g/cm}^3$ .

TABELA 6 - Valores médios da densidade aparente obtida para a espécie Tauari-vermelho

Tauari-vermelho	N	$\rho_{ap(12\%)}$	Desvio Padrão ( $\sigma$ )	Coefficiente de Variação (%)	Mínimo	Máximo
A	24	0,7122 c	0,0758	10,6514	0,408	0,788
B	24	0,8150 a	0,0318	3,9116	0,771	0,896
C	24	0,7758 b	0,0233	3,0134	0,736	0,809
D	24	0,7607 b	0,0579	7,6180	0,668	0,846

$\rho_{ap(12\%)}$  - Densidade aparente a 12% de umidade ( $\text{g/cm}^3$ ); N - Número de corpos-de-prova ensaiados. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Dados da pesquisa

\* Transformados para  $\text{g/cm}^3$  para serem comparados.

É possível comparar os resultados de densidade aparente das espécies em estudo com outras literaturas de madeiras de folhosas na TABELA 7.

TABELA 7 - Comparação dos resultados de densidade aparente com outras literaturas.

Fonte	Espécie	Família	$\rho_{ap}$ (g/cm <sup>3</sup> )*
Dissertação 2010	Breu-vermelho	Burseraceae	0,52
IBAMA/LPF	Breu-branco	Burseraceae	0,59
Dissertação 2010	Pequiarana	Caryocaraceae	0,81
IBAMA/LPF	Pequiarana	Caryocaraceae	0,78
IBAMA/LPF	Pau-amarelo	Rutaceae	0,81
Dissertação 2010	Tauari-vermelho	Lecythidaceae	0,76
Souza et al. (1997)	Timborana	Leguminosae-Papilionoideae	0,76
IBAMA/LPF	Seru	Lecythidaceae	0,75

$\rho_{ap}$  - Densidade Aparente; Fonte: Dados da pesquisa

\* Transformados para g/cm<sup>3</sup> para serem comparados.

### 5.1.2 RETRATIBILIDADE

Acredita-se que na madeira de folhosas as maiores diferenças entre a retratibilidade tangencial em relação à radial são atribuídas às características anatômicas. Principalmente o volume de raio, que quanto maior o número de células, que constituem sua largura e altura, maior a contribuição em termos da restrição da variação dimensional na direção radial. Entretanto, outros fatores como as dimensões radiais das fibras e diferenciação química entre as paredes celulares radiais e tangenciais também podem, segundo MASSERAN e MARIAUX (1985), ser fatores decisivos a influenciar na anisotropia da retratibilidade das madeiras.

#### 5.1.2.1 Contração Radial

Na TABELA 8 estão indicados os resultados do ensaio de contração radial realizados para as três espécies avaliadas. Foram obtidos valores médios de contração radial (%) para cada espécie. O teste de média a contração radial apresentado na TABELA 8 mostrou que a espécie Tauari-vermelho foi superior às demais espécies estudadas.

TABELA 8 - Valores médios de contração radial (%) das três espécies estudadas

Espécie	N	$\epsilon_{r,2}$	$\rho_{ap(12\%)}^*$ (g/cm <sup>3</sup> )	Desvio Padrão ( $\sigma$ )	Coefficiente de Variação (%)	Mínimo	Máximo
Breu-vermelho	32	1,5775 c	0,525 c	0,3335	21,1416	1,0729	2,2406
Pequiarana	32	1,9250 b	0,812 a	0,6506	33,7999	1,1071	3,1978
Tauari-vermelho	32	2,7270 a	0,761 b	0,6631	24,3195	0,7005	4,8412

N - Número de corpos-de-prova ensaiados;  $\epsilon_{r,2}$ = Contração radial, em %;  $\rho_{ap(12\%)}$  - Densidade aparente.

\*Médias seguidas da mesma letra não diferem, estatisticamente, pelo teste de Tukey com significância de 5% ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Dados da pesquisa

#### 5.1.2.1.1 Contração radial das seções das espécies estudadas

Os resultados obtidos na determinação da contração radial das seções da espécie Breu-vermelho são apresentados na TABELA 9. Pode ser observado que a seção B apresentou o maior valor de contração radial. Estatisticamente, verificou-se que há diferença significativa entre a seção B e as demais seções.

TABELA 9 - Valores médios de contração radial (%) das seções da espécie Breu-vermelho

Breu-vermelho	N	$\epsilon_{r,2}$	Desvio Padrão ( $\sigma$ )	Coefficiente de Variação (%)	Mínimo	Máximo
A	8	1,4979 b	0,2471	16,5028	1,0729	1,7550
B	8	2,0168 a	0,2231	11,0626	1,5588	2,2406
C	8	1,3931 b	0,2458	17,6475	1,1310	1,9368
D	8	1,4023 b	0,1397	9,9636	1,2096	1,5693

N - Número de corpos-de-prova ensaiados;  $\epsilon_{r,2}$ = Contração radial, em %

\*Médias seguidas da mesma letra não diferem, estatisticamente, pelo teste de Tukey com significância de 5% ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Dados da pesquisa

Analisando os resultados da TABELA 10, observa-se que a contração radial da espécie Pequiarana na seção A foi superior as demais seções, sendo que estatisticamente esta seção foi diferente da seção D e B ao nível de 5% de probabilidade.

TABELA 10- Valores médios de contração radial (%) da espécie Pequiarana

Pequiarana	N	$\epsilon_{r,2}$	Desvio Padrão ( $\sigma$ )	Coefficiente de Variação (%)	Mínimo	Máximo
A	8	2,3937 a	0,3139	13,1159	1,9161	2,8350
B	8	1,3770 c	0,2662	19,3361	1,1124	1,7116
C	8	2,2823 ab	0,8774	38,4445	1,1806	3,1978
D	8	1,6472 bc	0,3274	19,8795	1,1071	1,9192

N - Número de corpos-de-prova ensaiados;  $\epsilon_{r,2}$  = Contração radial, em %

\*Médias seguidas da mesma letra não diferem, estatisticamente, pelo teste de Tukey com significância de 5% ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Dados da pesquisa

A TABELA 11 apresenta os resultados da análise de variância realizada para o ensaio de contração radial para a espécie Tauari-vermelho. Os resultados indicam haver diferença significativa ao nível de significância de 5% de probabilidade entre os tratamentos. Os valores médios apresentados para a seção B são superiores as demais seções.

TABELA 11 - Valores médios de contração radial (%) da espécie Tauari-vermelho

Tauari-vermelho	N	$\epsilon_{r,2}$	Desvio Padrão ( $\sigma$ )	Coefficiente de Variação (%)	Mínimo	Máximo
A	8	2,13511 c	0,150035	7,02702	1,9414	2,43
B	8	3,35514 a	0,606117	18,0653	2,9877	4,8412
C	8	2,46655 bc	0,724004	29,3529	0,7005	2,8946
D	8	2,95127 ab	0,217823	7,38064	2,6808	3,1984

N - Número de corpos-de-prova ensaiados;  $\epsilon_{r,2}$  = Contração radial, em %

\*Médias seguidas da mesma letra não diferem, estatisticamente, pelo teste de Tukey com significância de 5% ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Dados da pesquisa

### 5.1.2.2 Contração Tangencial

A TABELA 12 apresenta os resultados encontrados da contração tangencial, o maior valor foi apresentado para o Breu-vermelho, sendo, porém, estatisticamente não diferente das espécies estudadas Pequiarana e Tauari-vermelho.

TABELA 12 - Valores médios de contração tangencial (%) das três espécies estudadas

Espécie	N	( $\epsilon_{r,3}$ )	Desvio Padrão ( $\sigma$ )	Coefficiente de Variação (%)	Mínimo	Máximo
Breu-vermelho	32	3,1441 a	0,8354	26,5705	1,8538	5,9274
Pequiarana	32	2,7726 a	0,7663	27,6408	1,5397	4,6404
Tauari-vermelho	32	3,0677 a	0,4099	13,3646	2,2366	3,7879

N - Número de corpos-de-prova ensaiados; ( $\epsilon_{r,3}$ ) - Contração tangencial, em %.

\*Médias seguidas da mesma letra não diferem, estatisticamente, pelo teste de Tukey com significância de 5% ( $p < 0,05$ ). Fonte: Dados da pesquisa

De acordo com o banco de dados de madeiras brasileiras do IBAMA/LPF (2011) as espécies de madeira que obtém o valor de contração tangencial menor que 11,5% são caracterizadas como indivíduos de contração baixa, sendo que superior a 11,5% - 14% a espécie é caracterizada como média contração e acima de 14% alta contração, logo se pode classificar as espécies estudadas como espécies de baixa contração tangencial.

Comparando os resultados das espécies estudadas ao banco de dados de madeiras brasileiras do IBAMA/LPF (2011) observaram-se nove espécies florestais inseridas na classificação de espécies de baixa contração tangencial demonstradas na TABELA 13.

TABELA 13 - Comparação dos resultados de contração tangencial com Banco de dados de espécies de madeiras brasileiras

Fonte	Nome vulgar	Nome Científico	( $\epsilon_{r,3}$ )
Dissertação (2010)	Pequiarana	<i>Caryocar glabrum</i>	2,77
Dissertação (2010)	Tauari-vermelho	<i>Cariniana micrantha</i> Ducke	3,07
Dissertação (2010)	Breu-vermelho	<i>Protium puncticulatum</i> J.F.Macbr.	3,14
LPF/IBAMA (2011)	Tamboril	<i>Enterolobium maximum</i>	4,5
LPF/IBAMA (2011)	Cajuí	<i>Anacardium tenuifolium</i>	4,87
LPF/IBAMA (2011)	Açacu	<i>Hura crepitans</i>	5,2
LPF/IBAMA (2011)	Faveira	<i>Parkia oppositifolia</i>	5,33
LPF/IBAMA (2011)	Faveira	<i>Parkia sp.</i>	5,35
LPF/IBAMA (2011)	Cajuaçu	<i>Anacardium parvifolium</i>	5,37
LPF/IBAMA (2011)	Cerejeira	<i>Amburana acreana</i>	5,4
LPF/IBAMA (2011)	Sumaúma	<i>Ceiba pentandra</i>	5,5
LPF/IBAMA (2011)	Louro-preto	<i>Ocotea fragrantissima</i>	5,72

( $\epsilon_{r,3}$ ) - Contração tangencial, em %.

Comparando as espécies estudadas com os resultados obtidos de contração tangencial LPF/IBAMA (2011) pode se indicar a espécie de Breu-vermelho a molduras, lambris, rodapé e as espécies Pequiarana e Breu-vermelho pode ser indicada a móveis e batentes.

## 5.1.2.2.1 Contração tangencial das seções das espécies estudadas

De acordo com os resultados apresentados na TABELA 14, verifica-se que a análise de variância das seções da espécie Tauari-vermelho apresentou diferença estatística entre tratamentos com valores entre 2,61% e 13,29% ao ensaio de contração tangencial, onde a seção B, juntamente com as seções C e D, respectivamente, apresentaram os maiores valores, sendo estatisticamente superior a seção A. Em relação ao menor desempenho, verifica-se que a seção A, foi estatisticamente inferior aos demais devido os corpos de provas serem os mais heterogêneos, o que ressalta a necessidade de abordagem distinta dessa medida de variação, conforme a natureza dos dados.

TABELA 14 - Valores médios de contração tangencial (%) da espécie Tauari-vermelho

Tauari-vermelho	N	( $\epsilon_{r,3}$ )	Desvio Padrão ( $\sigma$ )	Coefficiente de Variação (%)	Mínimo	Máximo
A	8	2,6135 b	0,4018	15,3772	2,2366	3,5494
B	8	3,2951 a	0,3115	9,4559	2,8399	3,7879
C	8	3,1100 a	0,2343	7,5366	2,7566	3,4739
D	8	3,2521 a	0,3083	9,4820	2,8608	3,7231

N - Número de corpos-de-prova ensaiados; ( $\epsilon_{r,3}$ ) - Contração tangencial, em %;

\*Médias seguidas da mesma letra não diferem, estatisticamente, pelo teste de Tukey com significância de 5% ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Dados da pesquisa

De acordo com os resultados apresentados na TABELA 15, a análise de variância demonstrou a existência de diferença estatística significativa entre as seções da Pequiarana. Além disso, os valores para esta propriedade variaram entre 1,53% e 4,64%. No ensaio de contração tangencial, a seção B apresentou o maior valor.

TABELA 15 - Valores médios de contração tangencial (%) da espécie Pequiarana

Pequiarana	N	( $\epsilon_{r,3}$ )	Desvio Padrão ( $\sigma$ )	Coefficiente de Variação (%)	Mínimo	Máximo
A	8	2,2185 b	1,0366	46,7277	1,5397	4,6404
B	8	3,0799 ab	0,3439	11,1685	2,6309	3,6473
C	8	2,5020 ab	0,3940	15,7501	2,1434	3,3401
D	8	3,29014 a	0,6357	19,3229	2,3731	3,9436

N - Número de corpos-de-prova ensaiados; ( $\epsilon_{r,3}$ ) - Contração tangencial, em %;

\*Médias seguidas da mesma letra não diferem, estatisticamente, pelo teste de Tukey com significância de 5% ( $p < 0,05$ ). Fonte: Dados da pesquisa

De acordo com a TABELA 16, verifica-se que houve diferenças significativas entre as seções da Pequiarana. Observa-se que a seção B apresentou maior contração tangencial logo é preciso observar que a obtenção dos dados, neste caso, está sujeita a vários erros de coleta, o auxílio de instrumento de precisão, como o paquímetro, com isso, aumentam as possibilidades de maiores variações

TABELA 16 - Valores médios de contração tangencial (%) da espécie Breu-vermelho

Breu-vermelho	N	( $\epsilon_{r,3}$ )	Desvio Padrão ( $\sigma$ )	Coefficiente de Variação (%)	Mínimo	Máximo
A	8	2,8599 b	0,2679	9,3681	2,3986	3,2799
B	8	4,0558 a	1,2047	29,7029	2,6164	5,9274
C	8	2,6471 b	0,3577	13,5141	1,8538	3,1299
D	8	3,0136 b	0,3091	10,2597	2,5372	3,3748

N - Número de corpos-de-prova ensaiados; ( $\epsilon_{r,3}$ ) - Contração tangencial, em %;

\*Médias seguidas da mesma letra não diferem, estatisticamente, pelo teste de Tukey com significância de 5% ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Dados da pesquisa

### 5.1.2.3 Contração Volumétrica

JÚNIOR e GARCIA (2004) observaram que quanto menor a contração volumétrica melhor é a madeira para marcenaria, em função da menor movimentação dimensional.

De acordo com IPT (1985) madeira com retração volumétrica inferior a 12,33% é considerada pequena retração, entre 12,33 e 19,39% média retração e retração volumétrica acima de 19,40% é considerada alta. As espécies estudadas apresentaram retração volumétrica inferior a 12,33% logo deverá ser considerada pequena retração.

A TABELA 17 apresenta a diferença dos valores médios das espécies avaliadas para a contração volumétrica. A contração volumétrica dividiu-se em dois grupos; um primeiro representado pela espécie Tauari-vermelho com a maior retração devido moléculas pequenas de extrativos penetram nos espaços internos na parede celular ocupando os sítios até então disponíveis para adsorção de água, seguida de um segundo grupo representado pelas espécies Pequiarana e Breu-vermelho com valores médios de menores contrações volumétricas.

Quanto à variabilidade, apresentada pelos coeficientes de variação da TABELA 17, para a maioria das espécies em estudo, pode ser considerada elevada. A afirmação do FOREST PRODUCTS LABORATORY (1987) mostra que, para um estudo baseado em 50 espécies, o coeficiente de variação fica próximo de 15% para as contrações volumétricas e transversais. A madeira de Breu-vermelho, apesar de possuir o valor mais baixo de retratibilidade volumétrica, apresenta o maior coeficiente de variação, demonstrando a maior heterogeneidade da espécie. De acordo com INPA (1983), madeiras que apresentam retração volumétrica menor que 16,5% podem ser utilizadas como móveis e obras gerais de carpintaria, marcenaria e acabamento, sendo que as espécies estudadas apresentaram uma contração inferior ao citado, logo podem ser utilizadas para os determinados fins. Ainda o mesmo autor, informa que espécies que apresentam contração volumétrica menor que 17% e menores que 16% podem ser utilizadas como cabos em geral e construção leve (Estruturas leves, assoalhos, divisórias, paredes) respectivamente, sendo que as espécies em estudo apresentam valores inferiores aos citados.

TABELA 17 - Valores médios de contração volumétrica (%) das espécies estudadas

Espécie	N	Contração Volumétrica (%)	Desvio Padrão ( $\sigma$ )	Coeficiente de Variação (%)	Mínimo	Máximo
Breu-vermelho	32	4,9140 b	1,1181	22,7542	3,2990	8,2571
Pequiarana	32	4,9938 b	0,8871	17,7655	3,6113	7,4561
Tauari-vermelho	32	5,8614 a	0,9114	15,5491	3,8885	8,4709

N - Número de corpos-de-prova ensaiados;

\*Médias seguidas da mesma letra não diferem, estatisticamente, pelo teste de Tukey com significância de 5% ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Dados da pesquisa

Comparando os resultados obtidos de contração volumétricas aos resultados do banco de dados de espécies de madeiras brasileira verifica-se que o Breu-vermelho podem ser indicadas para lambris, molduras e rodapés e as espécies Pequiarana e Tauari-vermelho pode ser indicada a marcenaria e uso interno como divisórias.

TABELA 18 - Comparação dos resultados de contração volumétrica com Banco de dados de espécies de madeiras brasileiras

Fonte	Nome vulgar	Nome Científico	CTV (%)
Dissertação (2010)	Breu-vermelho	<i>Protium puncticulatum</i> J.F.Macbr.	4,91
Dissertação (2010)	Pequiarana	<i>Caryocar glabrum</i>	4,99
Dissertação (2010)	Tauari-vermelho	<i>Cariniana micrantha</i> Ducke	5,86

Fonte	Nome vulgar	Nome Científico	CTV (%)
LPF/IBAMA (2011)	Tamboril	<i>Enterolobium maximum</i>	6,7
LPF/IBAMA (2011)	Mogno	<i>Swietenia macrophylla</i>	7,2
LPF/IBAMA (2011)	Açacu	<i>Hura crepitans</i>	7,5
LPF/IBAMA (2011)	Fava-bolota/Visgueiro	<i>Parkia gigantocarpa</i>	8,76
LPF/IBAMA (2011)	Faveira	<i>Parkia oppositifolia</i>	7,9
LPF/IBAMA (2011)	Cerejeira	<i>Amburana acreana</i>	8,22
LPF/IBAMA (2011)	Cajuacú	<i>Anacardium giganteum</i>	8,47

CTV- Contração volumétrica.

#### 5.1.2.3.1 Contração Volumétrica das seções das espécies estudadas

De modo geral, pode-se observar na TABELA 19 que a seção B apresentou o maior valor médio de contração volumétrica (6,32%) para a espécie Breu-vermelho e difere estatisticamente das demais seções.

TABELA 19 - Valores médios de contração volumétrica (%) das seções da espécie Breu-vermelho

Breu-vermelho	N	Contração volumétrica (%)	Desvio Padrão ( $\sigma$ )	Coefficiente de Variação (%)	Mínimo	Máximo
A	8	4,6794 b	0,3318	7,0926	4,2599	5,2326
B	8	6,3262 a	1,3575	21,459	4,4827	8,2571
C	8	4,1359 b	0,4613	11,1541	3,2990	4,7704
D	8	4,5144 b	0,3928	8,7020	4,0738	5,0060

N - Número de corpos-de-prova ensaiados;

\*Médias seguidas da mesma letra não diferem, estatisticamente, pelo teste de Tukey com significância de 5% ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Dados da pesquisa

Os resultados para a contração volumétrica da espécie Pequiariana não apresentam diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade, conforme TABELA 20. Entretanto a seção C apresentou a contração maior entre as seções devido o cerne conter maior teor de extrativos que o albúrnio e em função da orientação das fibras.

TABELA 20- Valores médios de contração volumétrica (%) das seções da espécie Pequiarana

Pequiarana	N	Contração volumétrica (%)	Desvio Padrão ( $\sigma$ )	Coefficiente de Variação (%)	Mínimo	Máximo
A	8	4,8222 a	1,1619	24,0948	3,8683	7,4561
B	8	4,6902 a	0,4706	10,0349	4,0485	5,2785
C	8	5,3079 a	0,9447	17,7979	3,9824	6,9457
D	8	5,1551 a	0,8603	16,6896	3,6113	5,9613

N - Número de corpos-de-prova ensaiados;

\*Médias seguidas da mesma letra não diferem, estatisticamente, pelo teste de Tukey com significância de 5% ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Dados da pesquisa

Analisando os resultados obtidos, TABELA 21, é possível verificar a diferença estatística das seções de Tauari-vermelho e à seção B como superior as demais. É possível identificar a seção C como a mais heterogênea das seções em relação aos indivíduos amostrados.

TABELA 21- Valores médios de contração volumétrica (%) das seções da espécie Tauari-vermelho

Tauari-vermelho	N	Contração volumétrica (%)	Desvio Padrão ( $\sigma$ )	Coefficiente de Variação (%)	Mínimo	Máximo
A	8	4,8787 c	0,4511	9,2469	4,3765	5,8694
B	8	6,6560 a	0,7912	11,8877	5,9659	8,4709
C	8	5,6093 bc	0,7677	13,6862	3,8885	6,1889
D	8	6,3016 ab	0,3743	5,9404	5,8385	7,0262

N - Número de corpos-de-prova ensaiados;

\*Médias seguidas da mesma letra não diferem, estatisticamente, pelo teste de Tukey com significância de 5% ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Dados da pesquisa

#### 5.1.2.4 Contração Longitudinal

KOLLMANN e COTÊ (1968) afirmaram que a contração longitudinal total de madeira normal varia entre 0,1 e 0,9% e que para a maioria dos usos uma contração axial total uniforme de 0,3% está próximo do permissível. Esses autores ainda afirmaram que a contração longitudinal varia inversamente com a densidade da madeira.

A TABELA 22 apresenta valores mais elevados do que os citados anteriormente, também para madeira com desvios-padrão elevado, representada pelas elevadas variação.

Segundo o FOREST PRODUCTS LABORATORY (1987), os valores médios de contração longitudinal total estão entre 0,1 e 0,2% para a maioria das espécies. Madeira anormal, como de reação, lenho juvenil e de grã-reversa, apresenta valor mais elevado. Sabe-se que o principal componente a influenciar essas contrações é o ângulo microfibrilar que, quanto maior, mais elevados são esses valores.

Analisando os resultados apresentados na TABELA 22, verifica-se que houve diferença significativa para a contração longitudinal em relação às espécies avaliadas, onde a maior média foi apresentada na Pequiarana e a menor média ao Tauri-vermelho.

TABELA 22 - Valores médios de contração longitudinal (%) das espécies avaliadas

Espécie	N	Contração longitudinal (%)	Desvio Padrão ( $\sigma$ )	Coefficiente de Variação (%)	Mínimo	Máximo
Breu-vermelho	32	0,2180 ab	0,2393	109,7850	0,0300	1,3275
Pequiarana	32	0,3487 a	0,2452	70,3335	0,0506	1,1925
Tauri-vermelho	32	0,2090 b	0,2070	99,0400	0,0201	1,1350

N - Número de corpos-de-prova ensaiados;

\*Médias seguidas da mesma letra não diferem, estatisticamente, pelo teste de Tukey com significância de 5% ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Dados da pesquisa

#### 5.1.2.4.1 Contração Longitudinal das seções das espécies avaliadas

Nas TABELAS 23, 24 e 25 são apresentados os valores referentes à contração longitudinal das espécies Breu-vermelho, Pequiarana e Tauri-vermelho, com seus respectivos desvio padrão e coeficientes de variação. O teste de média mostrou que não houve diferença estatística significativa entre os valores médios das quatro seções.

TABELA 23 - Valores médios de contração longitudinal (%) da espécie Breu-vermelho

Breu-vermelho	N	Contração longitudinal (%)	Desvio Padrão ( $\sigma$ )	Coefficiente de Variação (%)	Mínimo	Máximo
A	8	0,3398 a	0,4019	118,272	0,1104	1,3275
B	8	0,2971 a	0,1909	64,2474	0,0399	0,6095
C	8	0,1130 a	0,0553	49,0021	0,0300	0,1911
D	8	0,1220 a	0,0735	60,294	0,0300	0,2003

N - Número de corpos-de-prova ensaiados;

\*Médias seguidas da mesma letra não diferem, estatisticamente, pelo teste de Tukey com significância de 5% ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Dados da pesquisa

TABELA 24 - Valores médios de contração longitudinal (%) da espécie Pequiarana

Pequiarana	N	Contração longitudinal (%)	Desvio Padrão ( $\sigma$ )	Coefficiente de Variação (%)	Mínimo	Máximo
A	8	0,2889 a	0,2334	80,7708	0,0506	0,6878
B	8	0,2765 a	0,1653	59,7964	0,0603	0,6088
C	8	0,5296a	0,3425	64,6709	0,1510	1,1925
D	8	0,2996 a	0,1305	43,5549	0,1103	0,5361

N - Número de corpos-de-prova ensaiados; \*Médias seguidas da mesma letra não diferem, estatisticamente, pelo teste de Tukey com significância de 5% ( $p < 0,05$ ). Fonte: Dados da pesquisa

TABELA 25 - Valores médios de contração longitudinal (%) da espécie Tauari-vermelho

Tauari-vermelho	N	Contração longitudinal (%)	Desvio Padrão ( $\sigma$ )	Coefficiente de Variação (%)	Mínimo	Máximo
A	8	0,2155 a	0,1327	61,5869	0,0398	0,3687
B	8	0,1548 a	0,0788	50,9024	0,0505	0,2812
C	8	0,3006 a	0,3571	118,762	0,0411	1,1350
D	8	0,1650 a	0,1524	92,3714	0,0201	0,4213

N - Número de corpos-de-prova ensaiados;

\*Médias seguidas da mesma letra não diferem, estatisticamente, pelo teste de Tukey com significância de 5% ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Dados da pesquisa

### 5.1.2.5 Coeficiente de anisotropia (CA)

O fator anisotrópico é a relação entre a retratibilidade na direção tangencial dividida pela mesma propriedade na direção radial. A situação ideal, raramente encontrada, seria aquela na qual as tensões decorrentes da natureza anisotrópica se anulariam segundo as direções em que a retratibilidade se manifestasse. A importância desse índice, portanto, é que, quanto maior for o seu distanciamento da unidade, mais propensa será a madeira a fendilhar e empenar durante as alterações dimensionais provocadas pela variação higroscópica (KLOCK, 2000).

Em termos do coeficiente de anisotropia ( $\epsilon_{r,3}/(\epsilon_{r,2})$ ), que expressa a relação entre as contrações tangencial e radial e sinaliza a estabilidade dimensional da madeira a espécie que apresentou um índice mais elevado (CA = 2,0099) foi o Breu-vermelho. Os resultados médios obtidos para o coeficiente de anisotropia (CA) são apresentados na TABELA 26. Conforme KLOCK (2000), madeiras com alta anisotropia, por exemplo, com um valor maior que 2

(dois) geralmente são difíceis de secar. Como regra geral pode ser dito que madeiras que contraem menos são mais estáveis.

A TABELA 26 apresenta os resultados médios do coeficiente de anisotropia das espécies estudadas. De acordo com o LPF/IBAMA (2010), a espécie Pequiarana apresenta o CA = 2,20, sendo que o estudo apresentou um CA inferior ao citado acima (1,6351). Analisando a TABELA 27, observa-se que, Tauari-vermelho apresentou o CA=1,2207, um coeficiente inferior (CA = 1,58) ao citado na ficha técnica a espécie Tauari-vermelho pelo IBAMA (2010).

TABELA 26 – Coeficiente de anisotropia (%) das espécies estudadas

Espécie	N	CA	Desvio Padrão ( $\sigma$ )	Coeficiente de Variação (%)	Mínimo	Máximo
Breu-vermelho	32	2,0099 a	0,3532	17,5727	1,3865	2,6919
Pequiarana	32	1,6351 b	0,7082	43,3128	0,6538	2,8293
Tauari-vermelho	32	1,2207 c	0,5910	48,4144	0,7553	4,3343

AC – Coeficiente de anisotropia; N - Número de corpos-de-prova ensaiados.

\*Médias seguidas da mesma letra não diferem, estatisticamente, pelo teste de Tukey com significância de 5% ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Dados da pesquisa

De acordo MORESCHI (2010) a classe de qualidade da madeira pode ser definida segundo o fator de anisotropia classificando as espécies como madeiras consideradas excelentes (1,2 a 1,5), madeiras classificadas como normal (1,6 a 1,9) e madeiras de baixa qualidade ( $>2,0$ ).

Confirmando a classificação demonstrada anterior, DURLO E MARCHIORI (1992) apresentaram o seguinte critério de classificação da madeira quanto a esse parâmetro: 1,2-1,5 – considerado excelente, ocorrendo em madeira de cedro, sucupira, mogno, balsa entre outras; 1,5-2,0 - normal exemplificado em ipê, pinus, araucária, peroba-rosa e teca, entre outras espécies; e acima de 2,0 - como ruim, que pode ocorrer em madeiras de araucária, imbuía, álamo e jatobá, entre outras espécies.

Analisando-se os resultados entre as seções do Breu-vermelho (TABELA 27) e Tauari-vermelho (TABELA 28) não apresentam diferenças significativas caracterizando as seções das espécies como homogênea quando avaliado o coeficiente de anisotropia.

Avaliando o Tauari-vermelho, a espécie apresenta estrutura lenhosa de alta estabilidade dimensional comparada às demais espécies.

TABELA 27 - Valores médios de Coeficiente de Anisotropia (%) das seções da espécie Breu-vermelho

Breu-vermelho	N	CA	Desvio Padrão ( $\sigma$ )	Coeficiente de Variação (%)	Mínimo	Máximo
A	8	0,3398 a	0,4019	118,272	0,1104	1,3275
B	8	0,2971 a	0,1909	64,2474	0,0399	0,6095
C	8	0,1130 a	0,0553	49,0021	0,0300	0,1911
D	8	0,1220 a	0,0735	60,2940	0,0300	0,2003

CA- Índice de Anisotropia; N = Número de corpos-de-prova ensaiados.

\*Médias seguidas da mesma letra não diferem, estatisticamente, pelo teste de Tukey com significância de 5% ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Dados da pesquisa

TABELA 28 - Valores médios de Coeficiente de Anisotropia (%) das seções da espécie Pequiarana

Pequiarana	N	CA	Desvio Padrão ( $\sigma$ )	Coeficiente de Variação (%)	Mínimo	Máximo
A	8	0,9152 b	0,3361	36,7270	0,6538	1,6368
B	8	2,2816 a	0,3270	14,3357	1,7572	2,7033
C	8	1,3198 b	0,7420	56,2251	0,7439	2,8293
D	8	2,0237 a	0,3070	15,1727	1,4101	2,5174

CA- Índice de Anisotropia; N = Número de corpos-de-prova ensaiados.

\*Médias seguidas da mesma letra não diferem, estatisticamente, pelo teste de Tukey com significância de 5% ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Dados da pesquisa

TABELA 29 - Valores médios de Coeficiente de Anisotropia (%) das seções da espécie Tauari-vermelho

Tauari-vermelho	N	CA	Desvio Padrão ( $\sigma$ )	Coeficiente de Variação (%)	Mínimo	Máximo
A	8	1,2292 a	0,1977	16,0894	0,9204	1,6078
B	8	0,9989 a	0,1419	14,2087	0,7553	1,2217
C	8	1,5458 a	1,1284	73,0001	1,0603	4,3343
D	8	1,1090 a	0,1509	13,6082	0,9192	1,3888

CA- Índice de Anisotropia; N = Número de corpos-de-prova ensaiados.

\*Médias seguidas da mesma letra não diferem, estatisticamente, pelo teste de Tukey com significância de 5% ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Dados da pesquisa

Comparando o coeficiente de anisotropia das espécies estudadas com os resultados obtidos pelo LPF/IBAMA (2011) apresentados na TABELA 30 verificou-se uma proximidade com as espécies Garrote e Faveira-amargosa, sendo assim possível indicar a espécie Tauari-

vermelho ao uso externo, batente, lambris, molduras e as espécies Pequiarana e Breu-vermelho ao uso interno, uso externo e estruturas.

TABELA 30 - Comparação dos resultados de coeficiente de anisotropia com Banco de dados de espécies de madeiras brasileiras (LPF/IBAMA, 2011)

Fonte	Nome vulgar	Nome científico	CA
LPF/IBAMA (2011)	Garrote	<i>Brosimum sp.</i>	0,73
Dissertação (2010)	Tauari-vermelho	<i>Cariniana micrantha</i> Ducke	1,22
Dissertação (2010)	Pequiarana	<i>Caryocar glabrum</i>	1,64
LPF/IBAMA (2011)	Faveira-amargosa	<i>Vatairea guianensis</i>	1,83
Dissertação (2010)	Breu-vermelho	<i>Protium puncticulatum</i> J.F.Macbr.	2,01
LPF/IBAMA (2011)	Tamboril	<i>Enterolobium maximum</i>	6,7
LPF/IBAMA (2011)	Tamboril	<i>Enterolobium maximum</i>	6,8
LPF/IBAMA (2011)	Mogno	<i>Swietenia macrophylla</i>	7,2
LPF/IBAMA (2011)	Açacu	<i>Hura crepitans</i>	7,5
LPF/IBAMA (2011)	Faveira	<i>Parkia oppositifolia</i>	7,9
LPF/IBAMA (2011)	Faveira	<i>Parkia sp.</i>	8,13

CA- Índice de Anisotropia

## 5.2 PROPRIEDADES MECÂNICAS

### 5.2.1 Dureza

#### 5.2.1.1 Dureza tangencial (Transversal)

A TABELA 31 apresenta os valores médios por espécie e suas respectivas seções observando a diferença significativa entre as espécies.

A diferença entre as espécies pode ser influenciada por fatores externos, aliados à variabilidade genética expressa por cada espécie, enquanto o comportamento demonstrado por espécies diferentes deve estar relacionado a diferenças anatômicas capazes de influenciar em algumas propriedades mecânicas da madeira.

TABELA 31 - Valores médios de dureza no plano tangencial das espécies Breu-vermelho, Pequiarana, Tauari-vermelho

Espécie	Dureza Plano Tangencial (kgf)	Coefficiente de Variação (%)	Desvio Padrão ( $\sigma$ )	Mínimo	Máximo
Breu-vermelho	308,042 c	16,8	51,76	230,01	481,63
Pequiarana	644,711 a	8,54	55,09	496,51	777,9
Tauari-vermelho	510,489 b	24,07	122,92	215,2	731,98

\*Médias seguidas da mesma letra não diferem, estatisticamente, pelo teste de Tukey com significância de 5% ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Dados da pesquisa

A comparação das médias das seções de Breu-vermelho, Pequiarana e Tauari-vermelho com uma significância de 5% é apresentada na TABELA 32.

A seção C de Breu-vermelho apresentou menor valor de dureza tangencial e o maior valor é apresentado pela seção D. Para os resultados da Pequiarana observa-se a superioridade na seção A em relação às demais seções, sendo que também apresenta difere estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade no teste Tukey (TABELA 32). Para o Tauari-vermelho a seção A apresentou o maior resultado, entretanto não apresentaram diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade no teste Tukey.

TABELA 32 - Valores médios de dureza no plano tangencial das espécies Breu-vermelho, Pequiariana e Tauari-vermelho

Espécie	Seção	Dureza Plano Tangencial (Kgf)	Coefficiente de Variação (%)	Desvio Padrão ( $\sigma$ )	Mínimo	Máximo
Breu-vermelho	A	292,065 bc	11,75	34,32	241,57	373,63
	B	304,098 b	11,01	33,48	245,13	348,21
	C	266,737 c	9,86	26,3	230,01	312,43
	D	369,267 a	12,41	45,83	284,88	481,63
Pequiariana	A	675,5 a	6,58	44,48	580,59	777,9
	B	645,813 bc	6,24	40,33	589,86	757,32
	C	618,39 c	12,37	76,51	496,51	768
	D	639,139 bc	5,70	36,46	569,67	761,35
Tauari-vermelho	A	468,525 a	26,00	121,84	215,2	631,43
	B	552,827 a	27,17	150,23	215,44	710,6
	C	443,881 b	19,19	85,2	304,91	581,86
	D	576,722 b	12,03	69,4	455,89	731,98

\*Médias seguidas da mesma letra não diferem, estatisticamente, pelo teste de Tukey com significância de 5% ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Dados da pesquisa

TABELA 33 - Comparação dos resultados de Dureza no Plano Tangencial com Banco de dados de espécies de madeiras brasileiras (LPF/IBAMA, 2011)

Fonte	Nome vulgar	Nome científico	DT
Dissertação 2010	Breu-vermelho	<i>Protium puncticulatum</i> J.F.Macbr.	308,04
LPF/IBAMA (2011)	Cedrinho	<i>Erismia uninatum</i>	394
LPF/IBAMA (2011)	Cerejeira	<i>Amburana acreana</i>	399
LPF/IBAMA (2011)	Cedrinho	<i>Erismia uninatum</i>	399
LPF/IBAMA (2011)	Quaruba	<i>Vochysia maxima</i>	481
LPF/IBAMA (2011)	Embira-branca	<i>Vochysia obidensis</i>	507
Dissertação 2010	Tauari-vermelho	<i>Cariniana micrantha</i> Ducke	510,48
LPF/IBAMA (2011)	Ingá/ingá xixi	<i>Ingá alba</i>	643
LPF/IBAMA (2011)	Taxi-pitomba	<i>Sclerolobium chrysophyllum</i>	643
Dissertação 2010	Pequiariana	<i>Caryocar glabrum</i>	644,71
LPF/IBAMA (2011)	Angelim	<i>Hymenolobium</i> sp.	645

DT – Dureza no Plano Tangencial

Comparando os resultados de Dureza no Plano de Tangencial obtidos no Banco de Dados de espécies de madeiras brasileiras é possível indicar a espécie Breu-vermelho para lambris, molduras, rodapés. A espécie Pequiariana pode ser indicada para pisos de madeira, o Tauari-vermelho é possível indicar para uso interno e esquadria.

### 5.2.1.2 Dureza longitudinal

A análise de variância para dureza longitudinal entre as espécies avaliadas são todas significativas, confirmando a alta variabilidade desta propriedade (TABELA 34).

Conforme a classificação proposta por LPF/IBAMA (2010) a Dureza Janka das espécies florestais podem ser classificadas como baixa (<364 kgf), média (364 a 802 kgf) e alta (>802 kgf). Assim as espécies avaliadas podem ser classificadas como: espécie de baixa resistência, a Pequiarana e Tauari-vermelho média resistência.

A análise de variância indicou diferenças significativas entre as espécies no ensaio de Dureza Janka no sentido longitudinal (TABELA 34).

TABELA 34 - Valores médios de dureza no plano longitudinal das espécies Breu-vermelho, Pequiarana, Tauari-vermelho

Espécie	Dureza Plano Longitudinal (kgf)	Coefficiente de Variação (%)	Desvio Padrão ( $\sigma$ )	Mínimo	Máximo
Breu-vermelho	317,176 c	16,939	53,728	250,35	509,575
Pequiarana	705,503 a	10,416	73,4909	595,24	944,96
Tauari-vermelho	526,235 b	10,855	57,125	414,955	651,695

\*Médias seguidas da mesma letra não diferem, estatisticamente, pelo teste de Tukey com significância de 5% ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Dados da pesquisa

\* Transformados para kgf para serem comparados.

A TABELA 35 apresenta os valores médios de dureza no plano longitudinal encontrados para as seções das espécies avaliadas. Os resultados evidenciam que as seções A, B, C da espécie Breu-vermelho não diferem estatisticamente, apenas a seção D apresentou diferença estatística ao nível de 5% de probabilidade. Ainda TABELA 35, o Breu-vermelho apresentou grande amplitude de variação (250,35 a 509,57 kgf) no plano longitudinal, a Pequiarana apresentou o maior médio na seção A (659,07 kgf) e o Tauari-vermelho apresentou o maior valor médio (578,323 kgf) na seção D.

As espécies avaliadas apresentaram variações nas seções das espécies, provavelmente, porque o teste é realizado em uma pequena área do corpo de prova, sendo afetado pela distribuição no local da inserção da semiesfera.

No Tauri-vermelho apenas a seção A difere estatisticamente das demais. Provavelmente em função da área do corpo de prova onde foi realizado o ensaio.

TABELA 35 - Valores médios de dureza no plano longitudinal das espécies Breu-vermelho, Pequiariana, Tauari-vermelho

Espécie	Seção	Dureza Plano Longitudinal (kgf)	Coefficiente de Variação (%)	Desvio Padrão ( $\sigma$ )	Mínimo	Máximo
Breu-vermelho	A	287,818 b	9,37	26,98	250,35	328,9
	B	299,766 b	8,56	25,67	265,76	369,28
	C	286,696 b	4,94	14,16	255,66	323,04
	D	380,301 a	13,99	53,23	304,59	509,58
Pequiariana	A	729,561 ab	7,76	56,66	636,73	901,73
	B	646,008 c	5,87	37,93	600,47	735,86
	C	693,022 bc	12,34	85,52	595,24	944,96
	D	751,292 a	8,19	61,56	678,22	895,55
Tauari-vermelho	A	469,883 c	7,8	36,65	414,96	528,02
	B	566,551 a	5,64	31,98	512,58	606,8
	C	380,301 a	13,99	53,23	304,59	509,58
	D	544,055 ab	12,62	68,69	451,22	651,7

\*Médias seguidas da mesma letra não diferem, estatisticamente, pelo teste de Tukey com significância de 5% ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Dados da pesquisa

\* Transformados para Kgf para serem comparados.

### 5.2.1.3 Dureza radial (Dureza Paralela)

A TABELA 36 mostra os valores médios de dureza radial para as três espécies avaliadas. O teste de Tukey apontou diferenças significativas entre as espécies. No entanto, pode-se considerar que, a Pequiariana apresentou valor médio superior as demais espécies.

Comparando a espécie Breu-vermelho com demais espécies de madeiras tropicais citados em ARAÚJO (2007) verificou-se a proximidade de valores médios de dureza no plano radial com as espécies Burra-leiteira (*Sapium marmieri* Huber), Caucho (*Castilla ulei* Warb.), Leiteiro *Sapium aereum* Klotzch, Marupá (*Simarouba amara* Aubl).

Quanto à espécie Pequiariana os valores médios encontrados por ARAÚJO (2007) para espécies Envira-preta (*Guatteria olivacea* R. E. Fries) 592,08 Kgf e Freijó/frei jorge (*Cordia goeldiana* Huber) 524,98 kgf aproximou-se dos valores médios encontrados no ensaio de Dureza no plano radial.

Os valores médios das espécies Amapá-amargoso (*Parahancornia amapa* (Huber) Ducke) 540,07 kgf, Breu/Amescla (*Trattinickia cf. burseraefolia* Mart.) 519,98 kgf, Envira

(*Rollinia exsucca* (Dun.) A. DC) 539,05 kgf encontrados por ARAÚJO (2007) foram próximos ao encontrado à espécie Tauari-vermelho no ensaio de Dureza no plano radial.

TABELA 36 - Valores médios de dureza no plano radial das espécies Breu-vermelho, Pequiariana, Tauari-vermelho

Espécie	Dureza Plano Radial (kgf)	Coefficiente de Variação (%)	Desvio Padrão ( $\sigma$ )	Mínimo	Máximo
Breu-vermelho	303,824 c	19,78	601,22	230,95	505,37
Pequiariana	628,976 a	8,78	552,47	539,73	871,48
Tauari-vermelho	531,727 b	17,05	906,98	322,24	721,13

\*Médias seguidas da mesma letra não diferem, estatisticamente, pelo teste de Tukey com significância de 5% ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Dados da pesquisa

\* Transformados para kgf para serem comparados.

Comparando as espécies estudadas com o banco de dados das espécies de madeiras brasileiras (TABELA 37) pode-se indicar o Breu-vermelho ao uso interno e externo e as espécies Pequiariana e Tauari-vermelho ao uso externo, batentes, lambris e molduras.

TABELA 37 - Comparação dos resultados de Dureza no Plano Radial com Banco de dados de espécies de madeiras brasileiras (LPF/IBAMA, 2011)

Fonte	Nome Comum	Nome Científico	DR (kgf)
LPF/IBAMA (2010)	Castanha-de-cutia	<i>Acio edulis</i>	158
LPF/IBAMA (2010)	Figueira/Gameleira	<i>Ficus insipida</i>	212
LPF/IBAMA (2010)	Cajá	<i>Spondias lutea</i>	215
LPF/IBAMA (2010)	Burra-Leiteira	<i>Sapium marmieri</i>	234
LPF/IBAMA (2010)	Sumaúma	<i>Ceiba pentandra</i>	236
LPF/IBAMA (2010)	Fava-bolota	<i>Parkia gigantocarpa</i>	242
LPF/IBAMA (2010)	Marupá	<i>Simarouba amara</i>	276
LPF/IBAMA (2010)	Caucho	<i>Castilla ulei</i>	277
LPF/IBAMA (2010)	Leiteiro	<i>Sapium aereum</i>	278
Dissertação (2010)	Breu-vermelho	<i>Protium puncticulatum</i> J.F.Macbr.	303,82
LPF/IBAMA (2010)	Faveira	<i>Parkia oppositifolia</i>	305
LPF/IBAMA (2010)	Ucuúba/Virola	<i>Virola multicostata</i>	326
LPF/IBAMA (2010)	Caroba/Parapará	<i>Jacaranda copaia</i>	336
LPF/IBAMA (2010)	Cajá	<i>Spondias lutea</i>	337
LPF/IBAMA (2010)	Louro-vermelho	<i>Nectandra rubra</i>	342
LPF/IBAMA (2010)	Caju-Açu	<i>Anarcadium giganteum</i>	374
LPF/IBAMA (2010)	Caju-Açu	<i>Anarcadium microcarpum</i>	387
LPF/IBAMA (2010)	Cajuí	<i>Anarcadium tenuifolium</i>	389
LPF/IBAMA (2010)	Caju-Açu	<i>Anarcadium spruceanum</i>	390
LPF/IBAMA (2010)	Pau-de jangada	<i>Apeiba echinata</i>	390

Fonte	Nome Comum	Nome Científico	DR (kgf)
LPF/IBAMA (2010)	Açacu	Hura crepitans	392
LPF/IBAMA (2010)	Castanha-de-arara	Joannesia heveoides	392
LPF/IBAMA (2010)	Tamboril	Enterolobium maximum	393
LPF/IBAMA (2010)	Urucu-da-mata	Bixa arborea	396
LPF/IBAMA (2010)	Faveira/Visgueiro	Parkia paraensis	399
LPF/IBAMA (2010)	Faveira	Parkia multijuga	409
LPF/IBAMA (2010)	Virola/Ucuúba	Virola surinamensis	410
LPF/IBAMA (2010)	Faveira	Parkia oppositifolia	413
LPF/IBAMA (2010)	Axixá	Sterculia apeibophylla	416
LPF/IBAMA (2010)	Taxi	Tachigali myrmecophila	427
LPF/IBAMA (2010)	Cedrorana	Cedrelinga catenaeformis	432
LPF/IBAMA (2010)	Marupá	Simarouba amara	439
LPF/IBAMA (2010)	Ucuubarana	Osteophloeum platyspermum	444
LPF/IBAMA (2010)	Caju-Açu	Anacardium parvifolium	448
LPF/IBAMA (2010)	Cedro	Cedrela sp.	450
LPF/IBAMA (2010)	Pinho-Cuiabano	Schizolobium amazonicum	457
LPF/IBAMA (2010)	Cauchorana	Micrandra minor	464
LPF/IBAMA (2010)	Amescla	Trattinnickia cf.burseraefolia	470
LPF/IBAMA (2010)	Abiurana	Pouteiria sp.	483
LPF/IBAMA (2010)	Embira-preta	Guatteria olivacea	488
LPF/IBAMA (2010)	Morototó	Schefflera morototoni	489
LPF/IBAMA (2010)	Tamboril	Enterolobium maximum	504
LPF/IBAMA (2010)	Maminha-de-porca	Zanthoxylum regnelianum	523
Dissertação (2010)	Tauari-vermelho	<i>Cariniana micrantha</i> Ducke	531,73
LPF/IBAMA (2010)	Mogno-dourado	Parahancornia amapa	540
Dissertação (2010)	Pequiarana	<i>Caryocar glabrum</i>	628,98

DR - Dureza no plano radial

TABELA 38 - Valores médios de dureza no plano radial das espécies Breu-vermelho, Pequiarana, Tauari-vermelho

Espécie	Seção	DR (kgf)	Coefficiente de Variação (%)	Desvio Padrão ( $\sigma$ )	Mínimo	Máximo
Breu-vermelho	A	286,941 b	14,25	40,91	237,68	374,815
	B	288,286 b	9,64	27,8	243,78	341,33
	C	259,280 b	7,30	18,93	230,955	298,65
	D	380,79 a	15,13	57,65	303,085	505,375
Pequiarana	A	659,072 a	5,94	39,18	575,605	728,89
	B	607,660 b	5,07	30,81	563,175	662,3
	C	616,907 b	13,73	84,72	539,735	871,48
	D	632,264 ab	5,83	36,9	576,32	726,755

Espécie	Seção	DR (kgf)	Coefficiente de Variação (%)	Desvio Padrão ( $\sigma$ )	Mínimo	Máximo
Tauari-vermelho	A	496,123 b	14,59	72,41	322,24	590,645
	B	560,980 a	18,64	104,6	394,45	696,03
	C	491,481 b	12,88	63,33	404,825	610,68
	D	578,323 a	15,08	87,23	438,39	721,13

DR- Dureza no plano radial

\*Médias seguidas da mesma letra não diferem, estatisticamente, pelo teste de Tukey com significância de 5% ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Dados da pesquisa

\* Transformados para serem comparados.

### 5.2.2 Tração normal às fibras

A TABELA 39 apresenta os resultados obtidos a partir do ensaio de tração normal as fibras às espécies avaliadas. De acordo com os resultados, verifica-se que a análise de variância demonstrou existência de diferença estatística significativa entre os tratamentos. Além disso, observa-se que os valores para esta propriedade variaram entre 30,08 e 113,29.

Nesta composição, a espécie Tauari-vermelho apresentou o maior valor para o ensaio de tração, sendo estatisticamente diferente apenas do Breu-vermelho. Por outro lado, o menor resultado foi apresentado pela espécie Breu-vermelho.

TABELA 39 - Valores médios de tração normal às fibras

Espécie	$f_{wt90}$ * (kgf/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de Variação (%)	Desvio Padrão ( $\sigma$ )	Mínimo	Máximo
Breu-vermelho	56,624 c	23,29	13,19	33,24	86,47
Pequiarana	69,903 a	28,34	19,81	30,08	113,29
Tauari-vermelho	70,295 a	17,6	12,37	36,51	92,49

$f_{wt90}$  - Resistência à tração perpendicular às fibras

\*Médias seguidas da mesma letra não diferem, estatisticamente, pelo teste de Tukey com significância de 5% ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Dados da pesquisa

\* Transformados para serem comparados.

TABELA 40 - Valores médios de tração normal às fibras por seção

Espécie	Seção	$f_{wt90}^*$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de Variação (%)	Desvio Padrão ( $\sigma$ )	Mínimo	Máximo
Breu-vermelho	A	63,1639 a	17,39	10,98	39,26	85,45
	B	50,4043 c	23,46	11,82	33,24	77,6
	C	58,8465 ab	24,76	14,57	33,55	86,47
	D	54,0839 ab	22,61	12,23	37,83	82,6
Pequiarana	A	83,8813 a	17,62	14,78	50,37	112,78
	B	73,5291 ab	25,41	18,68	45,48	113,29
	C	52,4848 c	32,13	16,86	31,71	93,71
	D	69,7174 b	22,02	15,35	30,08	93,00
Tauari-vermelho	A	73,0722 a	9,18	6,7	58,63	84,94
	B	76,1404a	8,31	6,32	67,4	92,49
	C	75,1661a	11,94	8,98	49,66	91,88
	D	56.8026b	25,43	14,44	36,51	77,60

$f_{wt90}$  - Resistência à tração perpendicular às fibras

\*Médias seguidas da mesma letra não diferem, estatisticamente, pelo teste de Tukey com significância de 5% ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Dados da pesquisa \* Transformados para Kgf/cm<sup>2</sup> para serem comparados.

### 5.2.3 Flexão Estática

Na TABELA 41 encontram-se os resultados de análise de variância e teste de Tukey para o ensaio de flexão estática, em função do módulo de elasticidade das espécies avaliadas em que os efeitos principais e a interação entre os fatores foram significativos ao nível de 5% de probabilidade. Os valores médios são apresentados na TABELA 41.

TABELA 41 - Valores médios de flexão estática para o ensaio de módulo de elasticidade ( $E_{M0}$ )

Espécie	N	$E_{M0}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de Variação (%)	Desvio Padrão ( $\sigma$ )	Mínimo	Máximo
Breu-vermelho	39	89,849 b	7,98	7,17	72,67	106,29
Pequiarana	39	131,446 a	10,36	13,62	94,41	153,36
Tauari-vermelho	39	129,824 a	10,03	13,03	95,23	160,07

$E_{M0}$  - módulo de elasticidade à flexão estática, em kgf/ cm<sup>2</sup>

\*Médias seguidas da mesma letra não diferem, estatisticamente, pelo teste de Tukey com significância de 5% ( $p < 0,05$ )

Fonte: Dados da pesquisa

\* Transformados para kgf/cm<sup>2</sup> para serem comparados.

A análise de variância demonstra haver diferença significativa para o módulo de elasticidade entre as espécies. Entretanto entre as espécies Pequiarana e Tauari-vermelho não apresentam diferenças significativas. Em relação às seções A, B, C e D a TABELA 42 apresenta a análise de variância para o módulo de elasticidade ( $E_{M0}$ ) onde a interação das espécies foi significativa a 5% de probabilidade.

O Breu-vermelho não apresentou interação das seções dentro da espécie ao nível de 5% de probabilidade, a explicação para os resultados obtidos na análise dentro da espécie talvez possa ser a baixa variabilidade observada para as propriedades de cada uma das seções como pode ser inferido pelas linhas de desvio padrão da TABELA 42.

TABELA 42 – Valores médios de flexão Estática para o ensaio de módulo de elasticidade ( $E_{M0}$ ) por seções

Espécie	Seção	$E_{M0}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de Variação (%)	Desvio Padrão ( $\sigma$ )	Mínimo	Máximo
Breu-vermelho	A	90,601 c	9,95	9,01	72,67	99,79
	B	90,238 c	7,57	6,83	81,62	106,29
	C	93,837 c	5,38	5,054	84,45	100,21
	D	84,831 c	6,5	5,51	77,37	92,24

$E_{M0}$ : módulo de elasticidade à flexão estática, em Kgf.

\*Médias seguidas da mesma letra não diferem, estatisticamente, pelo teste de Tukey com significância de 5% ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Dados da pesquisa

\* Transformados para Kgf/cm<sup>2</sup> para serem comparados.

Observando na TABELA 43, as seções da Pequiarana, não apresentaram diferença significativa entre si e homogeneidade nos corpos de prova ensaiados.

TABELA 43 – Valores médios de flexão Estática para o ensaio de módulo de elasticidade ( $E_{M0}$ ) por seções da espécie Pequiarana

Espécie	Seção	$E_{M0}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de Variação (%)	Desvio Padrão ( $\sigma$ )	Mínimo	Máximo
Pequiarana	A	126,893 ab	14,55	18,46	94,41	147,28
	B	128,142 ab	9,11	11,68	111,49	141,65
	C	134,573 ab	10,33	13,9	104,41	153,36
	D	136,283 ab	4,68	6,38	124,94	145,22

$E_{M0}$ : módulo de elasticidade à flexão estática, em Kgf.

\*Médias seguidas da mesma letra não diferem, estatisticamente, pelo teste de Tukey com significância de 5% ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Dados da pesquisa

\* Transformados para Kgf/cm<sup>2</sup> para serem comparados.

Conforme TABELA 44, a seção A foi superior as demais seções do Tauri-vermelho devido a diversos fatores, incluindo a constituição morfológica, anatômica e química da madeira apresentando um valor médio de 141,420 kgf/cm<sup>2</sup>.

TABELA 44 – Valores médios de flexão Estática para o ensaio de módulo de elasticidade (E<sub>M0</sub>) por seções da espécie Tauari-vermelho

Espécie	Seção	E <sub>M0</sub> (kgf/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de Variação (%)	Desvio Padrão (σ)	Mínimo	Máximo
Tauari- vermelho	A	141,420 a	7,79	11,01	126,67	160,07
	B	123,726 b	9,88	12,22	95,47	136,43
	C	127,218 ab	10,66	13,56	95,23	144,83
	D	124,629 b	7,73	9,644	106,79	141,59

E<sub>M0</sub>: módulo de elasticidade à flexão estática, em Kgf.

\*Médias seguidas da mesma letra não diferem, estatisticamente, pelo teste de Tukey com significância de 5% (p<0,05).

Fonte: Dados da pesquisa

\* Transformados para Kgf/cm<sup>2</sup> para serem comparados.

Conforme classificação do LPF/IBAMA (2011) o Breu-vermelho apresenta a menor resistência. Comparando o Breu-vermelho a algumas do banco de dados de espécies de Madeiras Brasileiras (TABELA 45) é possível indicar ao uso interno, lambris, moldura, sendo que a Pequiariana e Tauari-vermelho pode ser indicada a uso interno, batentes, e estruturas.

TABELA 45 - Comparação dos resultados de Módulo de Elasticidade ao ensaio de Flexão Estática com Banco de dados de espécies de madeiras brasileiras (LPF/IBAMA, 2011)

Fonte	Nome vulgar	Nome científico	E <sub>M0</sub>
Dissertação (2011)	Breu-vermelho	<i>Protium puncticulatum</i> J.F.Macbr.	89,85
LPF/IBAMA (2011)	Fava-bolota/Visgueiro	<i>Parkia gigantocarpa</i>	90
LPF/IBAMA (2011)	Abiurana	<i>Pouteria sp.</i>	90
LPF/IBAMA (2011)	Caucho	<i>Castilla ulei</i>	91
LPF/IBAMA (2011)	Angélica	<i>Dicorynia guianensis</i>	91
LPF/IBAMA (2011)	Arapari	<i>Macrolobium acacifolium</i>	91
LPF/IBAMA (2011)	Burra-leiteira	<i>Sapium marmieri</i>	91
LPF/IBAMA (2011)	Tamboril	<i>Enterolobium maximum</i>	94
LPF/IBAMA (2011)	Cajuaçu	<i>Anacardium giganteum</i>	102
LPF/IBAMA (2011)	Mururerana	<i>Caryocar sp.</i>	102
LPF/IBAMA (2011)	Louro-preto	<i>Ocotea fragrantissima</i>	102
LPF/IBAMA (2011)	Ucuúba-da-mata	<i>Virola carinata</i>	102
LPF/IBAMA (2011)	Ucuúba	<i>Virola multicostata</i>	102
LPF/IBAMA (2011)	Freijó	<i>Cordia goeldiana</i>	104
LPF/IBAMA (2011)	Tento	<i>Ormosia paraenses</i>	104

Fonte	Nome vulgar	Nome científico	$E_{M0}$
LPF/IBAMA (2011)	Embira-de-preguiça	<i>Pterocarpus sp.</i>	104
LPF/IBAMA (2011)	Taxi-branco	<i>Tachigali cavipes</i>	104
Dissertação (2011)	Tauari-vermelho	<i>Cariniana micrantha</i> Ducke	129,82
Dissertação (2011)	Pequiarana	<i>Caryocar glabrum</i>	131,41

$E_{M0}$ : módulo de elasticidade à flexão estática, em kgf.

De acordo com a TABELA 46, os valores médios do módulo de ruptura ( $f_M$ ) para as espécies Breu-vermelho, Pequiarana e Tauari-vermelho demonstra haver diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade.

TABELA 46 - Valores médios de flexão estática para os ensaios de módulo de ruptura ( $f_M$ ) por espécies

Espécie	$f_M$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de Variação (%)	Desvio Padrão ( $\sigma$ )	Mínimo	Máximo
Breu-vermelho	741,525 c	12,867	95,41	503,95	921,01
Pequiarana	897,209 b	20,194	181,18	362,1	1172,68
Tauari-vermelho	1215,23 a	10,7	130,04	775,5	1375,5

$f_M$  - módulo de ruptura à flexão estática, em Kgf/cm<sup>2</sup>

\*Médias seguidas da mesma letra não diferem, estatisticamente, pelo teste de Tukey com significância de 5% ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Dados da pesquisa

Comparando a espécie Pequiarana (897,209 kgf/cm<sup>2</sup>) a base de dados de Madeiras Brasileiras do LPF/IBAMA (2011) é possível observar que a espécie utilizada nesta pesquisa apresenta valor médio inferior  $f_M$  (806,00 kgf/cm<sup>2</sup>) ao descrito pelo LPF/IBAMA (2011).

Verificou-se na TABELA 47 que as seções da espécie Breu-vermelho as três primeiras seções não apresentaram diferença significativa sendo que a última seção D próxima a copa apresentou uma valor inferior as demais, sendo que esta diferença pode ser em função da densidade na seção. Entretanto, nas espécies Pequiarana e Tauari-vermelho não apresentaram diferenças significativas entre as seções.

TABELA 47 - Valores médios de flexão Estática para os ensaios de módulo de ruptura  $f_M$  para as seções das espécies estudadas

Espécie	Seção	$f_M$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de Variação (%)	Desvio Padrão ( $\sigma$ )	Mínimo	Máximo
Breu-vermelho	A	794,202 a	7,59	60,34	716,86	880,53
	B	760,488 a	9,24	70,3	635,49	921,01

Espécie	Seção	$f_M$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de Variação (%)	Desvio Padrão ( $\sigma$ )	Mínimo	Máximo
	C	780,024 a	10,04	78,36	611,83	898,07
	D	636,653 b	13,21	84,13	503,95	774,89
Pequiarana	A	862,713 a	23,07	199,03	362,1	1054,9
	B	829,611 a	25,82	214,28	464,48	1046,74
	C	894,305 a	15,85	141,83	648,44	1131,28
	D	1213,80 a	14,64	177,71	775,5	1375,5
Tauari-vermelho	A	1223,17 a	9,32	114,1	937,02	1343,38
	B	1157,0 a	10,18	117,79	868,9	1249,36
	C	1266,81 a	7,74	98,17	1007,89	1333,69
	D	1213,8 a	14,64	177,71	775,5	1375,5

$f_M$  - módulo de ruptura à flexão estática, em kgf/cm<sup>2</sup>

\*Médias seguidas da mesma letra não diferem, estatisticamente, pelo teste de Tukey com significância de 5% (p<0,05). Fonte: Dados da pesquisa

TABELA 48 - Comparação dos resultados de Módulo de Ruptura ao ensaio de Flexão Estática com Banco de dados de espécies de madeiras brasileiras (LPF/IBAMA, 2011)

Fonte	Nome vulgar	Nome científico	$f_M$ (kgf/cm <sup>2</sup> )
LPF/IBAMA (2011)	Cedro	<i>Cedrela sp.</i>	714
LPF/IBAMA (2011)	Leiteiro	<i>Sapium aereum</i>	714
LPF/IBAMA (2011)	Morototó	<i>Schefflera morototoni</i>	725
LPF/IBAMA (2011)	Cajuaçu	<i>Anacardium parvifolium</i>	735
LPF/IBAMA (2011)	Taxi	<i>Tachigali myrmecophila</i>	741
Dissertação (2010)	Breu-vermelho	<i>Protium puncticulatum</i> J.F.Macbr.	741,52
LPF/IBAMA (2011)	Angélica	<i>Dicorynia guianensis</i>	748
LPF/IBAMA (2011)	Cauchorana	<i>Micrandra minor</i>	749
LPF/IBAMA (2011)	Faveira	<i>Parkia paraensis</i>	750
LPF/IBAMA (2011)	Cedrinho	<i>Erismia uncinatum</i>	878
LPF/IBAMA (2011)	Freijó	<i>Cordia sagotii</i>	881
LPF/IBAMA (2011)	Cedrinho	<i>Erismia uncinatum</i>	892
LPF/IBAMA (2011)	Jacareúba	<i>Calophyllum brasiliense</i>	894
LPF/IBAMA (2011)	Munguba-grande-da-terra-firme	<i>Eriotheca longipedicellata</i>	895
Dissertação (2010)	Pequiarana	<i>Caryocar glabrum</i>	897,20
LPF/IBAMA (2011)	Ucuubarana	<i>Osteophloeum platyspermum</i>	898
LPF/IBAMA (2011)	Cedrorama	<i>Cedrelinga catenaeformis</i>	905
LPF/IBAMA (2011)	Tauari	<i>Couratari oblongifolia</i>	905
Dissertação (2010)	Tauari-vermelho	<i>Cariniana micrantha</i> Ducke	1215,23
LPF/IBAMA (2011)	Louro	<i>Ocotea sp.</i>	1221

Fonte	Nome vulgar	Nome científico	$f_{M_2}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )
LPF/IBAMA (2011)	Abiurana-branca	<i>Micropholis mensalis</i>	1225
LPF/IBAMA (2011)	Pau-jacaré	<i>Laetia procera</i>	1227
LPF/IBAMA (2011)	Ingá	<i>Inga alba</i>	1231
LPF/IBAMA (2011)	Quaruba	<i>Vochysia guianensis</i>	1237
LPF/IBAMA (2011)	Embira-preta	<i>Guatteria procera</i>	1239
LPF/IBAMA (2011)	Andirá-uxi	<i>Andira retusa</i>	1243
LPF/IBAMA (2011)	Angelim-tinto	<i>Andira sp.</i>	1245

#### 5.2.4 Compressão Normal às Fibras

De acordo com a TABELA 49, a espécie Pequiarana apresentou a maior resistência no limite proporcional à compressão perpendicular às fibras variando de 566 a 817 (kgf/cm<sup>2</sup>) sendo que o coeficiente de variação foi 10,96%; a espécie Breu-vermelho, que apresentou a menor resistência no limite proporcional à compressão perpendicular às fibras variou de um mínimo de 153 a um máximo de a 482 (kgf/cm<sup>2</sup>) sendo que o coeficiente de variação foi 26,03%; a espécie Tauari-vermelho, que apresentou a segunda maior resistência no limite proporcional à compressão perpendicular às fibras variou de um mínimo de 566 a um máximo de a 799 (kgf/cm<sup>2</sup>) sendo que o coeficiente de variação foi 11,02%. As diferenças observadas entre os valores das espécies são provavelmente oriundas das diferenças anatômicas entre as mesmas.

TABELA 49 – Valores médios à compressão perpendicular às fibras das espécies Breu-vermelho, Pequiarana e Tauari-vermelho

Espécie	MOE (kgf/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de Variação (%)	Desvio Padrão ( $\sigma$ )	Mínimo	Máximo
Breu-vermelho	40,8361 b	26,03	108,34	153	482
Pequiarana	68,2695 a	10,96	76,27	566	817
Tuari-vermelho	66,4657 a	11,02	74,69	566	799

MOE – Módulo de Elasticidade em kgf/cm<sup>2</sup>

\*Médias seguidas da mesma letra não diferem, estatisticamente, pelo teste de Tukey com significância de 5% (p<0,05).

Fonte: Dados da pesquisa

## 6 CONCLUSÃO

- **Propriedades Físicas:**

De acordo com os resultados encontrados conclui-se que:

A espécie Pequiarana e o Tauri-vermelho possui potencial para uso em projetos estruturais, janelas, móveis, instrumentos musicais, marcenaria e uso interno como divisórias, batentes,

A espécie Breu-vermelho possui estabilidade dimensional para usos em janelas, móveis, instrumentos musicais, carpintaria, marcenaria, lambris, molduras e rodapés.

Em função do coeficiente de anisotropia a espécie Breu-vermelho pode apresentar no programa de secagem pequena tendência às rachaduras superficiais, encanoamento, torcimento e encurvamento médio e a espécie Tauri-vermelho e Pequiarana possui alta e média estabilidade dimensional quando seca em estufa.

- **Propriedades Mecânicas:**

As propriedades mecânicas avaliadas indicam que:

As espécies Pequiarana e Tauri-vermelho são indicadas para vigas estruturais, estrutura de telhado, pisos e decks e batentes.

A espécie Pequiarana possui potencial para uso comercial para grandes solicitações de esforços mecânicos.

## **7 RECOMENDAÇÕES**

Em face das espécies de estudo não terem sido encontradas em diversas literaturas, verifica-se a necessidade, por parte das instituições de pesquisa, de novos ensaios tecnológicos a espécies tropicais, pois vale lembrar que as espécies deste estudo representam uma fração da diversidade de espécies amazônicas.

A demanda de pesquisa identificada no decorrer deste estudo está à necessidade de um levantamento das espécies madeiras mais conhecidas, ou tradicionais, no mercado de madeiras. Tal pesquisa poderia, por exemplo, criar um índice que mostrasse o grau de conhecimento e uso das espécies de madeira (amazônicas ou não) e, deste modo, auxiliar um eventual programa de ensaios tecnológicos das chamadas madeiras pouco conhecidas.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, O. **Determinação da umidade em madeira por atenuação da radiação gama do Am.** Piracicaba, 1980. (Tese-Mestrado-ESALQ).

AMARAL, P.H.C.; VERÍSSIMO, J.A.O; BARRETO, P.G.; VIDAL, E.J.S. **Floresta para Sempre: um Manual para Produção de Madeira na Amazônia.** Belém: Imazon, 1998.

ANDRADE, A. **Sequenciamento, identificação e análise de proteínas do caule de mudas de Eucalyptos grands.** 2006. 120p. Tese (Doutorado em genética e melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

ARAÚJO, H.J.B. **Agrupamento das espécies madeiras ocorrentes em pequenas áreas sob manejo florestal do projeto de colonização Pedro Peixoto (AC) por similaridade das propriedades físicas e mecânicas.** Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP. 2002.

ANPM - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS PRODUTORES DE PISOS DA MADEIRA. **Informações sobre Pisos » Importância da Madeira para o Homem.** Disponível em: <<http://www.anpm.org.br/informacoes/importancia.html>>. Acesso em: 16 jan. 2007.

\_\_\_\_\_. **Informações sobre Pisos » Por quê Madeira ? » Vantagens Ecológicas.** Disponível em: <<http://www.anpm.org.br/informacoes/porquemadeira/ecologico.html>>. Acesso em: 16 jan. 2010.

\_\_\_\_\_. **Informações sobre Pisos » Por quê Madeira ? » Vantagens Técnicas.** Disponível em: <<http://www.anpm.org.br/informacoes/porquemadeira/tecnico.html>>. Acesso em: 16 jan. 07.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1997). NBR-7190. **Projeto de Estrutura de Madeira.**

BARRICHELO, L.E.G. **Estudo da variação longitudinal da densidade básica de *Eucalyptus spp.*** In: Congresso Florestal Brasileiro, 4, Belo Horizonte-MG, 1992.

BAUER, L.A.F. **Materiais de construção: a Madeira como material de construção.** Rio de Janeiro: Livros técnicos e científicos, 1985. Cap. 14, p. 36-48.

BORGNAKKE. C.; SONNTAG; R. E.; VAN WYLEN, G. J. **Fundamentos da termodinâmica clássica.** 4 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2003.

BOWYER, J. L.; SHMULSKY, R.; HAYGREEN, J. G. **Forest products and wood science: an introduction.** 4th ed. Ames: Iowa State Press, 2003.

BURGUER, L.M.; RICHTER, H.G. **Anatomia da madeira.** São Paulo: Nobel, 1991.

CAMARGO, J.L.C.; *et al.*, **Castanha de Macaco, *Cariniana micrantha* Ducke.** Informativo Técnico Rede de Sementes da Amazônia. Versão on-line ISSN 1679-8058 N° 15, 2007. Disponível em: <<http://rsa.ufam.edu.br:8080/sementes/especies/pdf/17Castanha-de-macaco.pdf>>. Acesso em: 04 dez. 2010.

CALIL, J. C. **O potencial do uso da madeira de pinus na construção civil.** Revista da Madeira. n, 52, 2000.

CHIES, D. **Influência do espaçamento sobre a qualidade e o rendimento da madeira serrada de *Pinus taeda* L. 120 f.** Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

CHIMELO, J.P. **Development of a probability-based computerization system for identification and for property prediction of selected tropical hardwoods.** Blacksburg, (Thesis PhD) – Virginia Polytechnic Institute. State University. 1980.

CORE, H. A.; CÔTÉ, W.A.; DAY, A.C. **Wood structure and identification.** 2. ed. New York: Syracuse University Press, 1979.

CRUZ, C. R.; LIMA, J. T; MUNIZ, G. I. B. **Variações dentro das árvores e entre clones das propriedades físicas e mecânicas da madeira de híbridos de *Eucalyptus***. Scientia Forestalis, Piracicaba (SP), 64: 33-37, 2003.

DURLO, M.A. & MARCHIORI, J.N.C. **Tecnologia da madeira: retratibilidade**. Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 1992. p. 33 (Série Técnica, 10).

ECOLOG. **Madeiras**. Disponível em: <<http://www.ecologflorestal.com.br/madeiras.av.>> Acesso em: 04 dez. 2010.

FERNANDEZ-VILLEGAS, Francisco Robles: Echenique – Manrique, Ramón. **Estructuras de madeira**. Mexico: Editorial Limusa S.A. 1983.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood Handbook: Wood as an engineering material. Agriculture Handbook 72**. Washington, D.C. , U.S Department of Agriculture. (1987).

FILHO, M.T.;CHIMELO, J.P.; GARCIA, P.V. **Madeiras de Espécies Florestais do Estado do Maranhão: II - Caracterização Anatômica**. IPEF, nº 23, p. 29-36, abr.1983. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr23/cap04.pdf>>. Acesso em: 09 dez. 2010.

GALVÃO, A.P.M.; JANKOVSKY, I. **Secagem racional da madeira**. São Paulo, Nobel, p. 112. 1985.

GOMES, J.L e BANDEIRA, A.G. **Durabilidade natural de madeiras amazônicas em contato com o solo**. Boletim ABPM, São Paulo, 15:1-6. 1984.

GOMES, J.N. **Estudo da competição de espécies e procedências de eucalipto na região de Viçosa**. Revista Árvore. 72-88, 1977.

GOUVEIA, F. N. **Aplicação de tratamentos térmicos para estabilização colorimétrica de madeiras tropicais**. Tese de Doutorado em Ciências Florestais, Publicação EFLD-003.2008, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, p. 131.

GONÇALVES, F.G. **Avaliação da qualidade da madeira de Híbrido clonal de *eucalyptus urophylla* x *Grandis* para produtos sólidos.** Dissertação em Ciências Agrárias. Universidade Federal do Espírito Santo. Espírito Santo. Fevereiro 2006.

GOUVEIA, F. N. **Aplicação de tratamentos térmicos para estabilização colorimétrica de madeiras tropicais.** Tese de Doutorado em Ciências Florestais. Publicação EFLD-003/2008, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF.

HAYGREEN, J. G.; BOWYER, J. L. **Forest products and wood science: an introduction.** Ames: Iowa State University, 1982. p. 459.

IBAMA. Laboratório de Produtos Florestal. Madeiras Brasileiras. **Pequiarana.** Cidade, Estado, ano Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/lpf/madeira/caracteristicas.php?ID=53&caracteristica=206>>. Acesso em: 04 dez. 2010.

IPT. Divisão de madeiras. **Madeira: o que é e como pode ser processada e utilizada.** São Paulo: ABPM, 1985. 189 p. (BOLETIM ABPM, 36).

JÚNIOR, Laerte Scanavaca; GARCIA, José Nivaldo. **Determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus urophylla*.** Scientia Florestais, V. 65, p.120-129, 2004. IPEF. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr65/cap12.pdf>>. Acesso em: 31 dez. 2010.

KELLY, M.W. **Critical literature review of relationships between processing parameters properties of particleboards.** Washington: USDA Forest Service, 1977. 66 p. (General Tachni 10).

KLOCK, U. **Qualidade da madeira de *Pinus oocarpa* Shiede e *Pinus caribaea* Morelet var *hondurensis* Barr e Golf. 143 f.** Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989.

KOLLMANN, F. P.; CÔTÉ, W. A. **Principles of Wood science and technology.** Part I: Solid wood, 591p., Springer Verlag, 1968.

KOLLMANN, F.F.P. KUENZI, E.W. STAMM, A.J. **Principles of wood science and technology. Wood based materials.** V. 2, p. 703. 1975.

KLOCK, U. **Qualidade da Madeira de *Pinus maximinoi* H. E. Moore.** 291 f. Tese, (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

KOLLMANN, F. F. P. **Tecnología de la madera y sus aplicaciones.** Madrid: Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias y Servicio de la Madera, 1959.

LAROCA, C. **Habitação social em madeira: uma alternativa viável.** Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

LATORRACA, J. V.; ALBUQUERQUE, C. E. C. **Efeito do rápido crescimento sobre as propriedades da madeira.** Revista Floresta e Ambiente, Seropédica (RJ), v. 07, n. 01, p. 279-291, 2000.

LELLES, J.G; SILVA, J.C. **Problemas e soluções sobre rachaduras de topo de madeiras de *Eucalyptus* sp.** Nas fases de desdobro e de secagem. In: Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 18, n. 186, p. 62-69, 1997.

LIMA, J. T.; BREESE, M. C.; CAHALAN, C. M. **Variation in wood density and mechanical properties in *Eucalyptus* clones.** In: THE FUTURE OF EUCALYPTS FOR WOOD PRODUCTS. 2000, Launceston, Tasmania. Proceedings. Launceston: IUFRO. 2000, p. 282-291.

LOBÃO, M.S. et al. **Caracterização das propriedades físico-mecânicas da madeira de eucalipto com diferentes densidades.** Revista Árvore, Viçosa (MG), v. 28, n. 6, p.889-894, 2004.

LOGSDON, N.B.; FINGER, Z.; PENNA, E.S. **Caracterização físico-mecânica da madeira de Cedro-marinheiro, *Guarea trichilioides* L. (Meliaceae).** Scientia Forestalis, Piracicaba, SP, v. 36, n. 77, p. 43-51, 2008.

MADEIREIRA GUIMARÃES. **Pequiarana.** Disponível em:  
<<http://www.madguimaraes.com.br/Pequiarana.htm>.> Acesso em: 04 dez. 2010.

MASSERANN, C.; MARIAUX, A. Anisotropie de retrait et structure du bois. Recherche de l'influence des caractères morphologiques transverses des fibres. **Bois et Forêts des Tropiques**, n.209, p.35-47, 1985.

MATOS, E. H. S. F. **Cultivo do Pequi e Extração do Óleo.** Centro de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Universidade de Brasília – CDT/UnB. Dossiê Técnico. Abril 2007.

MACEDO, H. **Dicionário de física.** Rio de Janeiro, Nova Fronteira, 1976.

MELO, J.E.; CAMARGOS, J.A.A. **A Madeira e seus usos.** IBAMA. Brasília. *No prelo.*

OLIVEIRA, J.T.S.; SILVA, J.C. **Variação radial da retratibilidade e densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm.** Revista *Árvore*, v.27, n.3, p.381-385, 2003.

MELLO, R. L. **Projetar em madeira: Uma nova abordagem.** Dissertação apresentada à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília para obtenção do Título de mestre em arquitetura. Área de concentração: Tecnologia. 2007.

MEAD, R.; CURNOW, R.N. **Statistical methods in agriculture and experimental biology.** New York: Chapman and Hall, 1983.

OLIVEIRA, J.T.S. **Estudo das propriedades físicas e tecnológicas da madeira da Pindaíba (*Xylopia sericea* St. Hill.).** 106p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1988.

OLIVEIRA, J.T. et al. **Avaliação da retratibilidade da madeira de sete espécies de *Eucalyptus*.** Revista *Árvore*, Viçosa-MG, v.34, n.5, p. 929-936, 2010. Disponível em:  
<<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v34n5/18.pdf>.> Acesso em: 11 nov. 2010.

OLIVEIRA, J.T.S.; SILVA, J.C.R. **Variação radial da retratibilidade e densidade básica da madeira *Eucalyptus saligna* Sm.** Revista *Árvore*, v.27, n.3, p.381-385, 2003.

MOREIRA, W.S. **Relações entre propriedades físico - mecânico e características anatômicas e químicas da madeira.** 107 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, MG, 1999.

MOURA, L. A. **Economia Ambiental: Gestão de custos e investimentos.** São Paulo: Editora Juarez de Oliveira. 2000.

PAES, J.B.; LIMA, C.R.; SILVA, J.M. **Variação Longitudinal e radial da densidade básica da madeira de algaroba (*Prosopis juliflora* D.C.).** In: Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, 5, Belo Horizonte-MG, p.225-234, 1995.

PANSHIN, A. J.; ZEEUW, C. **Text book of wood technology.** 4. ed. New York: Mc Graw Hill, 1980. p.722.

PETERSEN, G. R. 1977. **Use and misuse of multiple comparison procedures.** *Agronomy Journal*, 69 (2): 205-208.

PIMENTEL-GOMES, F. **O índice de variação, um substituto vantajoso do coeficiente de variação.** Piracicaba: IPEF, 1991. p. 4 (Circular técnica, 178).

OLIVEIRA, J.T.S. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil.** p. 429. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

POGETTO, M.H.F.A.; BALLARIN, A.W.; COLENCI, R.A. **Relações entre a dureza paralela e normal às fibras em madeiras.** In: Encontro Brasileiro em Madeira e em Estruturas de Madeira, 10, 2006, Águas de São Pedro. Anais. Botucatu:UNESP, 2006.

REMADE. **Pisos e decks de madeira são clássicos na arquitetura.** Revista da Madeira. Edição n° 100. Nov. 2006. Disponível em: <[http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira\\_materia.php?num=976&subject=Pisos%20d](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=976&subject=Pisos%20d)

e%20Madeira&title=Pisos%20e%20decks%20de%20madeira%20s%C3%A3o%20cl%C3%A1ssicos%20na%20arquitetura.>. Acesso em: 04 dez. 2010.

REZENDE M.A. et al. **Estudo das interrelações entre massa específica, retratibilidade e umidade da madeira do *Pinus caribaea* var. *hondurensis* aos 8 anos de idade.** Trabalho de pesquisa / Research paper. IPEF n.48/49, p.133-141, jan./dez.1995. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr48-49/cap14.pdf>>. Acesso em: 05 dez. 2010.

REYMÃO, A. E. **Recursos para o desenvolvimento sustentável.** Revista da Madeira. Nº 87, ano 15/2004, p. 04-06.

REZENDE, M.A.; SAGLIETTI, J.R.C.; GUERRINI, I.A. **Estudo das interrelações entre massa específica, retratibilidade e umidade da madeira do *Pinus caribaea* var. *hondurensis* aos 8 anos de idade.** Trabalho de Pesquisa, IPEF, Piracicaba, SP, n.48/49, p.133-141, 1995.

REZENDE, M. A.; ESCOBEDO J. F. **Retratibilidade volumétrica e densidade aparente da madeira em função da umidade.** IPEF, n.39, p.33-40, ago.1988. UNESP, Depto. Biofísica Botucatu, SP. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr39/cap04.pdf>>. Acesso em 05 dez. 2010.

ROCHA, M. P. **Técnicas de desdobro da madeira.** Revista da Madeira. Nº 61, Ano 11. 2001. Disponível em: <<http://www.remade.com/revista>>. Acesso em 15 jan. 2007.

SALVADOR, M. **Jornal do Comércio.** Manaus, 07 jan. 2007. Disponível em: <<http://www.jcam.com.br/materia.php?idMateria=44133&idCaderno=2>> Acesso em: 16 Jan. 07.

SCANAVACA JR, L. GARCIA, J.N. **Rendimento em madeira serrada de *Eucalyptus urophylla*.** Scientia Forestalis, n. 63, p. 32-43, 2003.

SKAAR, C. **Water in Wood.** Syracuse, Syracuse University Press. 318 p. 1972.

SILVA, D.F.F. et al. **Influência na densidade da dureza janka em oito espécies madeireiras da Amazônia Central.** Acta Amazônica, 22 (2): 275 – 283.1992. Disponível em: <<http://acta.inpa.gov.br/fasciculos/22-2/PDF/v22n2a09.pdf>>. Acesso em: 31 Dez. 2010.

SILVA, N. O. **Industrialização viabiliza custo da madeira.** Revista da Madeira. Nº 14, p. 44-50. 1991.

SILVA, J.C.; OLIVEIRA, J.T.S. **Avaliação das propriedades higroscópicas da madeira de Eucalyptus saligna Sm. em diferentes condições de umidade relativa do ar.** Revista Árvore, v. 27, n. 2, p. 233 – 239, 2003.

SILVA, J. de C.; OLIVEIRA, J.T. da S. **Avaliação das propriedades higroscópicas da madeira de Eucalyptus saligna sm., em diferentes condições de umidade relativa do ar.** Revista Árvore, Viçosa, MG, v.27, n.2, p.233-239, 2003.

SILVA, J.C. **Caracterização da madeira de Eucalyptus grandis Hill ex. maiden, de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira.** 2002. p. 160. Tese (Doutorado em ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2002.

SINDIMASP – Sindicato do Comércio Atacadista de Madeira do Estado de São Paulo. **Sobre Madeira. Informações Técnicas. Castanha de macaco, Cariniana micrantha Ducke Ducke, Lecythidaceae.** Disponível em: <<http://www.sindimasp.org.br/conteudo/madeira/informacoes.asp?id=19.>> Acesso em: 04 Dez. 2010.

SINDIMASP – Sindicato do Comercio Atacadista de Madeira do Estado de São Paulo. **Sobre Madeira. Informações Técnicas. Piquiarana, Caryocar glabrum (Aubl.) Pers. Caryocaraceae.** Disponível em: <<http://www.sindimasp.org.br/conteudo/madeira/informacoes.asp?id=73.>> Acesso em: 04 Dez. 2010

SIMPSON, W.; TENWOLDE, A. **Physical properties and moisture relations of wood.** In: **Wood Handbook - Wood as an engineering material.** Madison: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. Chapter 3, p. 1-23, 1999.

SOUZA, M.H.; Magliano, M.M.; Camargo, J.A.A. 1997. **Madeiras tropicais brasileiras**. Brasília. IBAMA/LPF. p. 152.

TARCISÍO, F. Conhecendo a Madeira - **O Portal de tecnologia da madeira – Breu**. Publicado em 23/08/2008. Disponível em: <<http://www.conhecendoamadeira.com/articles/74/1/Breu/Page1.html/print>>. Acesso em: 30 Dez. 2010.

TREVISAN, R. (2006). **Efeito da intensidade de desbaste nas características dendrométricas e tecnológicas da madeira de eucalyptus grandis hill ex maiden**. Dissertação de Mestrado. Santa Maria, RS, Brasil.

TRUGILHO, P.F.; LIMA, J.T.; MENDES, L.M. **Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna***. Revista Cerne, Lavras (MG), v. 2, n. 1, p. 94-111, 1996.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure, properties and utilization**. New York, 1991. p. 494.

VALE, R.S. et al. **Efeito da desrama artificial na qualidade da madeira de clones de eucalipto em sistema agrossilvipastoril**. Revista Árvore, Viçosa (MG), v. 26, n.3, p. 285-297, 2002.

VALE, C.E. **Qualidade ambiental: o desafio de ser competitivo protegendo o meio ambiente: como se preparar para as normas ISO 14000**. São Paulo: Pioneira, 117 p. 1995.

VALE, A.T. **Estudo da densidade básica de três espécies do cerrado**. Revista da Arvore, Viçosa (MG), v. 16, n. 2, p. 209-217, 1992.

VALVERDE, S. R.; NEIVA, S.A. **Mercado de madeira de reflorestamento no Brasil**. Revista da Madeira. Nº 87, ano 15/2004, p. 12-16.

VITAL, B.R.; TRUGILHO, P.F. **Varição dimensional e uso da Madeira de Eucalyptus.** Informe Agropecuário, v. 186, p. 57-61. 1997.

ZHANG, S.Y. Mechanical properties in relation to specific gravity in 342 chinese woods. Wood and fiber science, v. 26, n. 4, p. 512-26. 1994.

ZHENG, Y.T. C; D.R. WANG, D.S. CHEN, J.J. **Study on the interface modification of bagasse fibre and the mechanical properties of its composite with PVC.** Composites Parts A: Applied Science and Manufacturing, v. 38, n. 1, p. 20-25, jan. 2007.