

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Estratégias de qualificação da madeira estrutural para
profissionalizar o uso desse material a níveis comercial e de obra**

Márcia Elizabeth Marchini Piva

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências, Programa: Recursos
Florestais. Opção em: Tecnologia de Produtos
Florestais

**Piracicaba
2013**

Márcia Elizabeth Marchini Piva
Administradora de Empresas

**Estratégias de qualificação da madeira estrutural para profissionalizar o uso
desse material a níveis comercial e de obra**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **JOSÉ NIVALDO GARCIA**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências, Programa: Recursos
Florestais. Opção em: Tecnologia de Produtos
Florestais

Piracicaba
2013

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - ESALQ/USP**

Piva, Márcia Elizabeth Marchini

Estratégias de qualificação da madeira estrutural para profissionalizar o uso desse material a níveis comercial e de obra / Márcia Elizabeth Marchini Piva. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2013.

114p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2013.
Bibliografia.

1. Madeira serrada 2. Mercado 3. Classificação estrutural 4. Leucaena leucocephala
5. Corymbia maculata 6. Hibrido torelliodora I. Título

CDD 674.2
P693e

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

DEDICATÓRIA

Dedico esta conquista

Aos meus filhos Rafael e Isabella,

fontes da minha inspiração, motivação e paixão pela vida;

Ao meu marido Murilo

pelo grande apoio, amor e compreensão,

sem o qual teria sido impossível realizar este trabalho;

À minha querida irmã Débora e

aos meus pais pelo amor incondicional.

AGRADECIMENTOS

A Deus por colocar muitos Anjos em minha vida;

À minha família por compreender a minha ausência em muitos momentos em que poderíamos estar juntos;

Ao meu orientador Prof. Dr. José Nivaldo Garcia, por acreditar em mim, apoiar, incentivar, pelas valiosas orientações e discussões, pela sua dedicação e sincera amizade;

Ao técnico do Laboratório de Engenharia da Madeira (LEM) Luis Eduardo Facco, pelo auxílio e preparação dos corpos de prova que permitiram a realização desse trabalho;

Aos meus colegas do LEM, Julieth, Cláudia, Maris, Henrique, Mônica e Susi por não medirem esforços em me ajudar e contribuírem com seus conhecimentos; e principalmente à minha grande amiga Aline que juntas dividimos alegrias, dúvidas e angústias desde o início dessa jornada;

Aos alunos de graduação e pós-graduação, Júlia Fidelis, Bruno Balboni, Bruno Mantega, Guilherme Rodrigues e Vitor César pela valiosa assistência prestada no desenvolvimento da metodologia e ensaios mecânicos;

À ESALQ/USP, em especial aos profissionais do Departamento de Ciências Florestais (Giovana, Catarina e Margarete), à serraria (Juca, Sidney e Carlito), o técnico Alex do laboratório de secagem e à Biblioteca Central (Vilma, Sílvio, Silvia e Eliana);

Ao PPGRF, LEM e a CAPES pelo suporte técnico e financeiro;

Ao professor Bianchi pelo auxílio no inglês e a todos que colaboraram para a realização desta conquista, obrigada!

*“Nunca ande pelo caminho traçado, pois ele conduz
somente aonde outros já foram”*

Graham Bell

SUMÁRIO

RESUMO.....	13
ABSTRACT.....	15
1 INTRODUÇÃO.....	17
1.1 Considerações Gerais.....	17
1.2 Objetivo.....	19
1.2.1 Objetivo Geral.....	19
1.2.2 Objetivos Específicos.....	19
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
2.1 Diagnóstico.....	21
2.2 Propriedades Físicas da Madeira.....	26
2.2.1 Densidade.....	27
2.2.2 Umidade.....	27
2.2.3 Variação Dimensional.....	28
2.3 Propriedades Mecânicas da Madeira.....	29
2.4 Densidade, Variação Dimensional e Tração, propriedades citadas na literatura como importantes para indicar usos e suas limitações.....	31
2.5 Espécies emergentes.....	39
2.5.1 <i>Leucaena leucocephala</i> (Leucena).....	40
2.5.2 <i>Corymbia maculata</i> (Maculata).....	41
2.5.3 Híbrido <i>torelliodora</i> (Torelliodora).....	43
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	45
3.1 Material.....	45
3.2 Métodos.....	48
3.2.1 Avaliação das toras.....	48
3.2.2 Desdobro das toras.....	50
3.2.3 Avaliação do teor de umidade.....	52
3.2.4 Avaliação do módulo de elasticidade (E_{M0}) em flexão de peças na condição real de uso.....	55
3.2.5 Avaliação do módulo de resistência à ruptura (f_M) em flexão através do ensaio de obra de peças na condição real de uso.....	59
3.2.6 Avaliação das propriedades físicas e mecânicas segundo	

recomendações da Norma Brasileira NBR 7190/97 relevantes à engenharia...	61
3.2.6.1 Resistência à flexão: módulo de ruptura (f_M) e módulo de elasticidade (E_{M0}) segundo Norma brasileira NBR 7190/97.....	62
3.2.6.2 Resistência ao cisalhamento paralelo às fibras segundo Norma Brasileira NBR 7190/97.....	67
3.2.6.3 Densidade aparente adaptada da Norma Brasileira NBR 7190/97.....	69
3.2.6.4 Resistência à compressão paralela às fibras segundo Norma Brasileira NBR 7190/97.....	70
3.2.7 Correlações entre módulo de elasticidade (E_{M0}) e módulo de ruptura (f_M) e entre resistência à compressão (f_{c0}) com outras propriedades; avaliação das equações recomendadas pela literatura para estimar o módulo de ruptura (f_M).....	74
3.2.8 Delineamento experimental e análises estatísticas.....	74
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	77
4.1 Avaliação dos diâmetros das toras.....	77
4.2 Avaliação das rachaduras de extremidades.....	78
4.3 Secagem das espécies.....	81
4.4 Resultados obtidos do módulo de elasticidade (E_{M0}) em flexão de peças na condição real de uso, através do ensaio em máquina univesal de ensaio...	83
4.5 Resultados obtidos do módulo de elasticidade (E_{M0}) em flexão de peças na condição real de uso, através do método de ensaio de obra.....	84
4.6 Resultados obtidos do módulo de elasticidade (E_{M0}) em flexão de corpos de prova segundo recomendações da Norma brasileira NBR 7190/97.....	84
4.7 Comparação entre métodos utilizados para a obtenção do módulo de elasticidade (E_{M0}) em flexão das espécies selecionadas.....	86
4.8 Resultados obtidos do módulo de ruptura (f_M) em flexão de peças na condição real de uso pelo método de ensaio de obra.....	88
4.9 Resultados obtidos do módulo de ruptura (f_M) em flexão de corpos de prova segundo recomendações da Norma brasileira NBR 7190/97.....	89
4.10 Comparação entre métodos utilizados para a obtenção do módulo de ruptura (f_M) em flexão das espécies selecionadas.....	90
4.11 Resultados obtidos de densidade aparente e das propriedades mecânicas relevantes à engenharia segundo recomendações da Norma	

brasileira NBR 7190/97 das espécies estudadas referenciadas com espécies consagradas no mercado.....	91
4.11.1 Densidade aparente.....	92
4.11.2 Flexão.....	93
4.11.3 Cisalhamento paralelo às fibras.....	96
4.11.4 Compressão paralela às fibras.....	98
4.12 Correlação entre o módulo de elasticidade (E_{M0}) e módulo de ruptura (f_M), e entre resistência à compressão (f_{c0}) e outras propriedades; e valores de módulo de ruptura (f_M) encontrados através da literatura	102
5 CONCLUSÕES.....	105
REFERÊNCIAS.....	107

RESUMO

Estratégias de qualificação da madeira estrutural para profissionalizar o uso desse material a níveis comercial e de obra

O presente trabalho tem por objetivo principal apresentar um processo de qualificação de peças estruturais das espécies emergentes *Leucaena leucocephala*, *Corymbia maculata* e híbrido torelliodora: *Corymbia torelliana* x *Corymbia citriodora*, através de ensaios simplificados a fim de profissionalizar o uso generalizado da madeira. O mercado madeireiro não dispõe de recursos técnicos e econômicos para oferecer, com critério de segurança, novas alternativas de madeiras. Cumpriu-se um exigente programa de métodos de ensaios laboratoriais conhecidos em normas e de novos procedimentos de ensaio de obra aliando vantagens econômicas, segurança e tempo. São apresentados ensaios de flexão não destrutivos e destrutivos em peças na condição real de uso em máquina universal de ensaio, em obra e em corpos de provas segundo recomendações da norma brasileira NBR 7190/97. Não houve diferenças significativas entre os métodos de ensaio, concluindo-se, por um lado, que dificilmente se conseguem corpos de prova totalmente isentos de defeitos e, por outro lado, que os ensaios de obra são plenamente confiáveis. Estabeleceram-se correlações entre módulo de elasticidade (E_{M0}) e o módulo de ruptura (f_M) e entre resistência à compressão (f_{c0}) e o módulo de ruptura (f_M), módulo de elasticidade (E_{M0}), módulo de elasticidade na compressão (E_{c0}), resistência ao cisalhamento (f_{v0}) e densidade aparente, a fim de determinarem-se as propriedades mecânicas obtidas por ensaios mais complicados a partir de ensaios mais simples e, assim minimizar custos e tempo. Os resultados corroboraram para que a madeira seja comercializada e qualificada pelo módulo de elasticidade (E_{M0}) e módulo de ruptura (f_M) para cálculos e dimensionamentos de estruturas de madeira, possibilitando otimização de material e maior segurança nas estruturas. As espécies estudadas são aptas para o mercado de madeira estrutural ficando evidenciado que o ensaio de obra constitui-se numa metodologia que pode ser facilmente utilizada a nível comercial e de obra.

Palavras-chave: Madeira serrada; Mercado; Classificação estrutural; *Leucaena leucocephala*; *Corymbia maculata*; Híbrido torelliodora

ABSTRACT

Qualification strategies of structural wood to professionalize its use commercially and in constructions

The current study aims to present a qualification process of structural wood pieces of emerging species *Leucaena leucocephala*, *Corymbia maculata* and hybrid *torelliodora* (*Corymbia torelliana* x *C. citriodora*), through simplified tests to professionalize the generalized timber uses. The wood market, due to lack of technical and economic resources, cannot offer, with safety criteria, alternatives to timber sources. A demanding program of standard laboratory testing protocols was followed and new test procedures for field tests combining economic advantages, security and time were developed. Nondestructive and destructive bending tests are presented in timber pieces in the real use condition in the universal testing machine, in field tests and in specimens according to recommendations of the Brazilian standard NBR 7190/97. No significant differences between the test methods were observed, which implies, from one side, that is almost impossible to obtain entirely defect-free specimens and, from the other side, the field tests are fully reliable. Correlations were established between modulus of elasticity (E_{M0}) and modulus of rupture (f_M); and between compression strength (f_{c0}) and modulus of rupture (f_M), modulus of elasticity (E_{M0}), modulus of elasticity in compression in parallel to the grain (E_{c0}), shear strength (f_{v0}) and apparent density to determine the more complex mechanical properties from those simpler and thus reducing costs and time. The results contribute to timber marketing and qualification by the modulus of elasticity (E_{M0}) and modulus of rupture module (f_M) for calculations and dimensioning of wooden structures, enabling material optimization and higher structural safety. The studied species are suitable for the structural wood market becoming an evidence that the field tests constitute a methodology that can be easily used in commercial level and construction.

Keywords: Sawn wood, Market; Structural classification; *Leucaena leucocephala*; *Corymbia maculata*; Hybrid *torelliodora*

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Gerais

O aumento populacional, florestas sendo convertidas em agricultura, em pastos, proibições de exploração madeireira de florestas naturais e baixos investimentos na formação de florestas são causas restritivas no fornecimento de madeira. Tal fato está tornando-se um problema de gestão, comprometendo o negócio florestal madeireiro e conseqüentemente o mercado nacional e internacional.

A escassez de madeira no mercado, segundo estudos e estimativas, tende a se agravar nos próximos anos visto que a expansão da área florestal não está acompanhando o ritmo da demanda.

A madeira é um material renovável, sustentável e excelente economicamente por apresentar uma ótima relação desempenho/custo. Pode ser proveniente de florestas naturais ou plantadas, mas para o caso do uso de madeiras nativas, oriundas de florestas naturais, é preciso estar atento à sua origem e eleger as provenientes de áreas licenciadas pelos órgãos competentes, em função do Plano de Manejo Florestal Sustentável adotado para garantir a sustentabilidade da produção madeireira. As madeiras de florestas plantadas são as obtidas através dos reflorestamentos, os quais permitem o reaproveitamento de áreas desmatadas e garantem o atendimento de interesses pré-estabelecidos, geralmente vinculados a uma indústria. Plantações de árvores podem desempenhar um papel importante no atendimento da demanda do abastecimento da madeira, promovendo desenvolvimento rural e conservação de ecossistemas.

Geralmente, para a introdução de uma nova espécie no mercado, a madeira é caracterizada e avaliada através de uma série de ensaios. Esses ensaios são realizados em corpos de prova isentos de defeitos, de pequenas dimensões, que podem não expressar o real comportamento de uma peça quando solicitada a um determinado esforço em serviço. Na experiência de mercado, pouco desses resultados são realmente usados na engenharia de modo que a introdução de uma nova espécie no mercado precisa ser estudada a ponto de rever os critérios e as necessidades reais do mercado, criando uma forte ligação entre a pesquisa e a indústria madeireira.

Dentre os maiores consumidores de madeira destacam-se a indústria moveleira e a construção civil. Nesses segmentos, o uso inteligente da madeira, permite profissionalizar o negócio florestal madeireiro, uma vez que valoriza e otimiza a fonte e a tecnologia de modo a não extinguir os recursos de produção. A indústria madeireira precisa de alternativas relacionadas à sustentabilidade ambiental, ao baixo custo e otimização de material e tempo. Há uma necessidade de maiores informações e subsídios técnicos para a introdução de uma nova madeira no mercado, mas também de qualificação mecânica de lotes de madeira para um uso definido. As espécies escolhidas para esse estudo foram a *Leucaena leucocephala*, o *Corymbia maculata* e o híbrido *torelliodora* (*Corymbia torelliana* x *Corymbia citriodora*), as quais se justificam por serem espécies de ritmos intensos de crescimento, que promovem ganhos substanciais em curto espaço de tempo. O Brasil tem uma das maiores reservas de madeira do mundo e saber como aliar o desenvolvimento social e econômico respeitando o equilíbrio com o meio ambiente já é motivo suficiente para justificar a importância de se estudar novas espécies de grande potencial madeireiro. O setor madeireiro e sua cadeia produtiva crescem em níveis nunca antes vistos nas regiões sul, centro-oeste e norte, empregando 9% da população economicamente ativa. Diante dessa situação, o Administrador de Empresas precisa aperfeiçoar o conhecimento da matéria-prima, preocupando-se em aplicar fontes e inovações tecnológicas conscientes de modo a não extinguir os recursos naturais. O estudo de estratégias de qualificação da madeira estrutural irá contribuir com o mercado madeireiro, fornecendo informações importantes para as indústrias que necessitam de matéria-prima sustentável e credibilidade, desmistificando o uso de madeiras oriundas de espécies desconhecidas pela falta de pesquisas. Com isso, haverá mais estímulo à silvicultura, empresas de pequeno e médio porte do setor florestal, além da valorização de terras, contribuindo para a fixação do homem no campo. O administrador precisa conhecer muito bem seu produto para poder despertar o interesse comercial, a confiança e visualizar a possibilidade de ter retornos promissores tanto financeiros quanto ambientais. A questão da harmonia entre processo produtivo e meio ambiente tem sido indicada como um dos mais importantes valores corporativos para elevar o crescimento sócio- econômico e abrir novos mercados.

Diante dessa nova realidade e necessidade, as hipóteses são:

- A madeira de crescimento rápido pode substituir madeiras da Amazônia;

-Ensaio de peças estruturais na condição real de uso são mais importantes do que ensaios em corpos de provas sem defeitos;

-Existem propriedades que não precisam ser estudadas por não serem usadas, dentro da perspectiva de minimizar custos e otimizar tempo.

1.2 Objetivo

1.2.1 Objetivo Geral

Este estudo tem como objetivo estudar as espécies emergentes *Leucaena leucocephala*, o *Corymbia maculata* e o híbrido *torelliodora* (*Corymbia torelliana* x *Corymbia citriodora*), em ensaios mecânicos adaptados às condições de obra a fim de profissionalizar o mercado madeireiro que por falta de recursos técnicos e econômicos não conseguem oferecer informações suficientes para garantir segurança às estruturas de madeira.

1.2.2 Objetivos Específicos

a) Avaliar o módulo de elasticidade (E_{M0}) e módulo de ruptura (f_M) em ensaios de flexão de obra em peças estruturais na condição real de uso, visto que no mercado dificilmente se encontram madeiras isentas de defeitos;

b) Avaliar as propriedades mecânicas da flexão (módulo de elasticidade (E_{M0}) e módulo de ruptura (f_M)), resistência ao cisalhamento paralelo (f_{V0}), densidade aparente, resistência à compressão paralela (f_{c0}) e o módulo de elasticidade na compressão (E_{c0}), segundo as recomendações da norma brasileira NBR 7190/97 e referenciá-las às madeiras tradicionais do mercado;

c) Comparar os resultados de módulo de elasticidade (E_{M0}) e de ruptura (f_M) obtidos através da máquina universal de ensaio em vigas na condição real de uso, com os obtidos através do método de ensaio de obra e com os obtidos de corpos de prova segundo as recomendações da NBR 7190/97;

d) Estabelecer correlações entre módulo de elasticidade (E_{M0}) e ruptura (f_M); e entre resistência à compressão (f_{c0}) e as propriedades (módulo de ruptura (f_M); módulo de elasticidade na flexão (E_{M0}), módulo de elasticidade na compressão (E_{c0}),

resistência ao cisalhamento (f_{v0}) e densidade aparente) a fim de minimizar custos e tempo;

e) Propor uma metodologia simplificada, para aliar economia, facilidade e rapidez na execução de ensaios mecânicos para a indicação de uma nova espécie ou de um lote de madeira ao mercado e direcionar usos dentro de critérios de segurança e qualidade.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Diagnóstico

O setor florestal brasileiro tem uma função de significativa importância e contribuição para o desenvolvimento econômico e social do país. O setor pode produzir mais e transferir riqueza para outros segmentos da economia (PETRAUSKI et al., 2012).

A exploração das florestas nativas tem sido realizada de forma largamente predatória, visto que a adoção do manejo florestal é recente e ainda representa uma pequena fração de toda a produção das matas nativas do Brasil (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE - ABIMCI, 2007).

O território brasileiro possui 851,1 milhões de hectares, sendo aproximadamente 544 milhões de hectares de florestas nativas e 6,5 milhões de florestas plantadas que conforme Associação Brasileira de Florestas Plantadas, segundo ABRAF (2012) há uma preocupante estagnação no crescimento.

Segundo Bacha (2005), há 20 milhões de hectares de área degradada no país, com terra pouco produtiva para a agricultura e que poderia ser aproveitada para o plantio de florestas, pois falta madeira. A tendência é que a falta de madeira aumente nos próximos anos, pois a expansão da área florestal não está acompanhando o ritmo de crescimento do consumo no mercado interno e externo.

A falta de madeira pode ser observada na Figura 1, representando uma ameaça à continuidade operacional (DARIO, 2007).

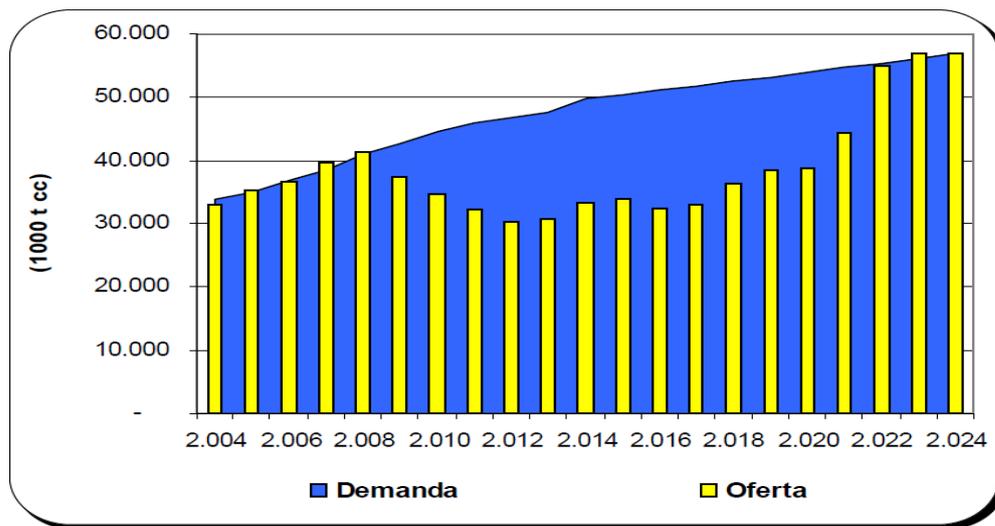


Figura 1 - Oferta e Demanda de pinus na Região Sul do Brasil (2004-2024)
 Fonte: Holtz Consultoria (2005) apud (FREITAS, 2005)

Em 2007 o PIB da indústria de base florestal alcançou US\$ 44,6 bilhões, equivalente a 3,4% do PIB nacional. Contribuiu, também, com 18,5% do superávit da balança comercial brasileira (ABIMCI, 2008).

Com o setor florestal inserido no comércio mundial, é necessário fortalecer os processos produtivos internos, visando o crescimento dinâmico e sustentável, impedindo desequilíbrios nas relações comerciais e financeiras, tão frágeis nas empresas de pequeno e médio porte do setor florestal (ABIMCI, 2003).

Segundo Selmany apud Polzl et al. (2003), o segmento madeireiro do setor florestal organiza-se em duas direções, uma transversal e outra longitudinal. Do ponto de vista transversal, distinguem-se os processos sucessivos de transformação que levam a madeira de um estado bruto a um estado final. Em função do plano longitudinal, pode-se segmentar a cadeia produtiva da madeira em três grandes cadeias, em função das distinções na utilização da madeira bruta. São elas: energia, madeira industrial e processamento mecânico(Figura 2).

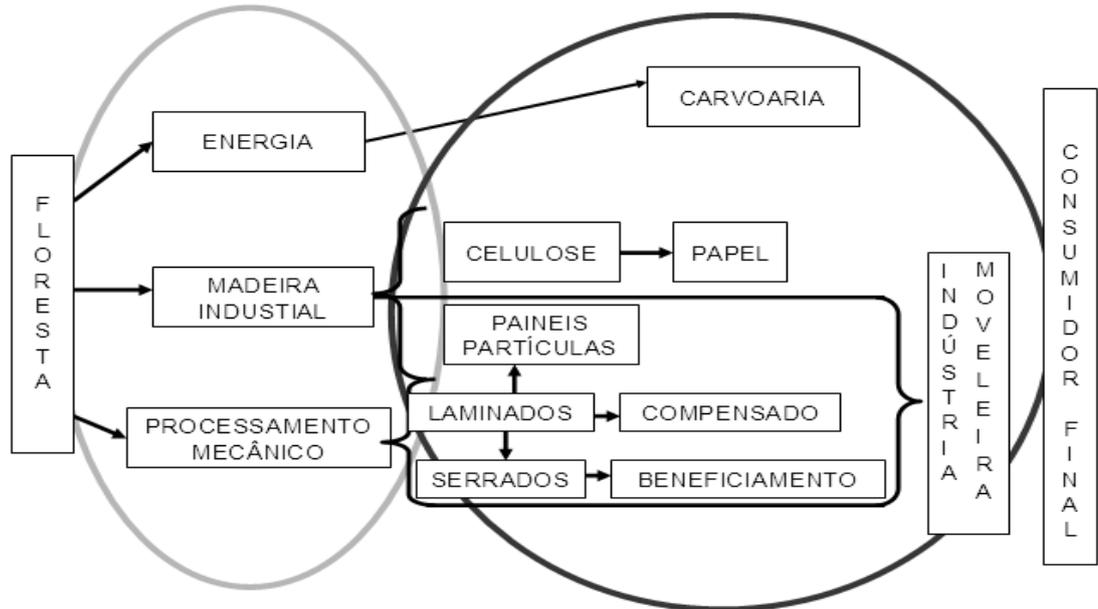


Figura 2 - Fluxograma geral da cadeia produtiva da madeira

Fonte: Polzl et al. (2003)

Nas serrarias são produzidas as madeiras serradas, onde as toras são processadas em equipamentos tipo: serra circular, desdobradeira, desengrossadeira e plainadeira. A sua produção está diretamente relacionada com o número e as características dos equipamentos utilizados e o rendimento baseado no aproveitamento da tora, sendo este em função do diâmetro da tora. A madeira beneficiada é obtida pela usinagem das peças serradas, que após o beneficiamento agrega valor às mesmas. Para esta operação são utilizados equipamentos com cabeças rotatórias providas de facas, fresas ou serras que usinam a madeira quanto a espessura, largura e comprimento definitivos, forma e acabamento superficial (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT, 2003).

A madeira comercial é qualquer madeira que é comprada ou vendida nos canais normais de comércio, podendo ser encontrada de várias formas, espécies e tipos e em vários estabelecimentos comerciais, no atacado e no varejo. A maioria dessas madeiras são padronizadas que tornam a compra mais ou menos uniforme em todo o país (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999).

Numa pesquisa realizada na cidade de São Paulo, Zenid (1996) verificou que a maior parte dos distribuidores de madeira e construtoras afirmaram que trabalhavam com medidas padronizadas. Nenhum entrevistado citou a utilização de uma norma ou especificação de entidades de classe e de instituições

normalizadoras. Quando solicitados a dizer qual era a padronização adotada, os distribuidores de madeira disseram adotar as dimensões comerciais e que também atendiam pedidos especiais. Vários entrevistados apontaram diversos nomes para peças de madeira serrada/beneficiada, de acordo com suas dimensões nominais (espessura x largura), conforme é apresentado a seguir:

- Coluna (cm): 20,0 x 30,0.
- Viga (cm): 5,0 x 6,0; 6,0 x 12,0; 6,0 x 16,0; 6,0 x 20,0; 6,0 x 25,0; 6,0 x 30,0.
- Caibro: (cm): 2,5 x 5,0; 4,0 x 4,0; 5,0 x 5,0; 5,0 x 6,0; 6,0 x 8,0; 7,0 x 8,0; 7,5 x 7,5; (polegada = pol): 3 x 3.
- Ripa (cm): 0,5 x 5,0; 1,0 x 5,0; 1,5 x 5,0; 1,5 x 5,5; 2,5 x 5,0.
- Pontalete: (cm): 4,0 x 4,0; 7,0 x 7,0; 7,5 x 7,5; 8,0 x 8,0; (pol): 3 x 3; roliço (diâmetro) (cm): 15,0.
- Pranchas: espessura (cm): 5,0 e 6,0; espessura (pol): 2; largura (cm): 15,0; 20,0; 25,0 e 30,0; largura (pol): 8.
- Tábua: espessura (cm): 1,5; 2,0; 2,5; espessura (pol): 1; largura (cm): 5,0; 10,0; 12,0; 15,0; 20,0; 22,0; 25,0; 30,0; 32,0; largura (pol): 8; 9; 10; 12;
- Tabeira (cm): 2,0 x 20,0; 2,5 x 15,0 e 2,5 x 20,0;
- Barrote (cm): 2,0 x 5,0.
- Sarrafo: espessura (cm): 2,0; 2,5; espessura (pol): 1; largura (cm): 2,0; 5,0; 7,0; 10,0; 15,0; largura (pol): 3; 4.
- Tábua para assoalho (cm): 2,0 x 20,0; 2,0 x 15,0; 2,5 x 15,0; 2,5 x 20,0; 3,0 x 25,0; 3,0 x 28,0.
- Taco (largura x comprimento) (cm): 7,0 x 21,0; 7,0 x 35,0; 7,0 x 42,0; 10,0 x 40,0; 10,0 x 50,0.
- Degrau (cm): 3,0 x 30,0.
- Forro: espessura (cm): 0,9; 1,0; 1,2; 2,5; largura (cm): 9,0; 10,0; 10,5.
- Lambril: espessura (cm): 1,0; 1,5; largura (cm): 9,5; 10,0; 15,0.
- Guarnição: espessura (cm): 1,0; 1,5; largura (cm): 4,5; 5,0; 6,5; 7,0.
- Rodapé (cm): 2,0 x 20,0.
- Cordão (cm): 1,5 x 15,0.
- Batente (cm): 3,5 x 14,0; 3,5 x 15,0; 3,5 x 16,0; 3,5 x 18; 3,5 x 20,0; 3,5 x 25,0; 4,0 x 14,0; 4,0 x 20,0; 4,0 x 25,0.

Conforme o mesmo autor, a análise dessas informações revelaram uma grande quantidade de dimensões disponíveis, uma confusão com relação aos nomes das peças (caibros com pontaletes, tábuas estreitas e sarrafos etc.) e o uso do sistema imperial de medidas (polegada), notadamente nas espessuras das peças. Também foi mencionado nas visitas realizadas, que as dimensões inadequadas das peças acabam provocando desperdícios.

Dentro do tema madeira serrada, são três normas NBR 7203/1982, NBR 14807/2002 e NBR 7190/1997 que especificam dimensões e nomenclaturas das peças. No entanto, segundo Oliveira et al. (2008), elas entram em contradição, podendo ser observado entre as normas NBR 7203/ 1982, e NBR 14807/2002, que divergem nas dimensões designadas para pranchão, prancha, viga, tábua, sarrafo e ripa, e na NBR 7190/1997, dessa vez em relação à dimensão mínima de caibros e sarrafos mencionados pela norma NBR 14807/2002 e a todas as espessuras mínimas de peças em comum com a NBR 7203/1982 (Tabela 1).

Tabela 1 - Comparação de dimensões e nomenclaturas entre as normas da ABNT

	Normas		
	NBR 7203/1982	NBR 7190/97	NBR 14807/2002
Peças	Esp (cm)/Larg(cm)	Espessura mínima (cm)	Esp (cm)/Larg(cm)
Pranchão	>7,0 / >20,0	Não especificado	7,1-16,1 / >16,1
Prancha	4,0–7,0 / >20,0	Não especificado	3,9-7,0 / >16,1
Viga	>4,0 / 11,0–20,0	5	4,0-8,0 / 8,1-16,0
Vigota	4,0-8,0 / 8,0-11,0	5	Não especificado
Caibro	4,0-8,0 / 5,0-8,0	2,5	4,0-8,0 / 5,0-8,0
Tábua	1,0-4,0 / >10,0	Não especificado	1,0-3,7 / >10,0
Sarrafo	2,0-4,0 / 2,0-10,0	2,5	2,1-3,9 / 2,0-9,9
Ripa	<2,0 / < 10,0	Não especificado	1,0-2,0 / 2,0-5,0

Fonte: Oliveira et al. (2008)

Ainda segundo Zenid (1996), apenas 13,3% dos proprietários das empresas pesquisadas no Distrito Federal declararam ter conhecimento da Norma NBR7203 da ABNT. Até mesmo entre as empresas especializadas apenas em madeira serrada, das quais poderia se esperar um nível superior de informação, os resultados não foram melhores.

Para Pio et al. apud Oliveira et al.(2008), no mercado interno a situação é preocupante. É necessário rever os critérios que serviram para estipular as normas e conduzir os empresários à sua aceitação, contribuindo com a minimização da geração de resíduos.

Uma das possibilidades do setor produtivo florestal ampliar sua participação no mercado internacional, em termos de estratégia mercadológica, é na produção de madeira serrada. Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente – AMBICI (2005), a quantidade de empresas que produzem madeira serrada tem diminuído, mas as empresas que sobejam têm ganhado escala e se modernizado (PETRAUSKI et al., 2012).

Em estudo feito pelo Imazon (2005), junto a produtores florestais, a qualidade do produto foi apontada como a maior exigência dos compradores nacionais e internacionais. Em seguida aparecem exigências como preços competitivos e pontualidade na entrega. Os empresários acreditam que a origem legal e a certificação florestal são exigências menos importantes.

Desta forma, a produção de madeira com qualidade para uso industrial deve ter como base a utilização de práticas silviculturais adequadas para propiciar a plena expressão dos genótipos utilizados, o estabelecimento de planos de manejo para agregar mais qualidade à madeira e o desenvolvimento de programas de melhoramento genético para garantir a disponibilização dos melhores genótipos com vistas ao processo e ao produto (ASSIS, 2001).

2.2 Propriedades Físicas da Madeira

A utilização da madeira é condicionada pela sua heterogeneidade, higroscopicidade e anisotropia (BURGER, 1991). A composição do lenho, a estrutura e a organização dos seus elementos constituintes são fatores que determinam as propriedades físicas da madeira e sua aptidão para o uso comercial (ESAU, 1974). Essa heterogeneidade da madeira deve-se aos diversos tipos de células com

funções específicas, por ser constituída de uma série de compostos químicos, orgânicos e inorgânicos, e também aos fatores que afetam o desenvolvimento das árvores, como clima, solo, local de crescimento e os de ordem genética (ROCHA, 1994).

2.2.1 Densidade

A densidade é influenciada por fatores internos e externos da madeira. Como fator interno destaca-se a estrutura anatômica do lenho. Dentre os fatores externos citam-se aspectos do local de crescimento das árvores, tais como, clima, solo, altitude, umidade do solo, declividade, vento, espaçamento e associação de espécies, bem como intervenções silviculturais do tipo adubação, poda, desbaste e densidade do povoamento (KLITZKE; TOMASELLI, 2000).

2.2.2 Umidade

A madeira é um material de natureza higroscópica, ou seja, tem a capacidade de trocar umidade com o ar a qual está exposta, atraindo e retendo moléculas de água através de pontes de hidrogênio. As árvores absorvem água e sais minerais do solo que, circulando pelos vasos, deslocam-se até as folhas, constituindo a seiva bruta. Das folhas em direção às raízes circula a seiva elaborada, constituída de água e produtos elaborados na fotossíntese. Em consequência, a madeira das árvores vivas ou recentemente derrubadas apresenta alto teor de umidade. Nessas condições, os vasos e os canais da madeira, assim como o lúmen das suas células, apresentam-se saturados de água. Desta mesma forma, os espaços vazios, localizados no interior das paredes celulares, também podem encontrar-se saturados (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985).

A quantidade de água das madeiras verdes ou recém - cortadas varia muito com as espécies e com a estação do ano. A faixa de variação da umidade das madeiras verdes tem como limites aproximados 30% para as madeiras mais resistentes e 130% para as madeiras mais macias (PFEIL; PFEIL, 2003).

No que tange à sua perda de umidade, de acordo com Calil Jr., Lahr e Dias (2003), a evaporação das moléculas de água livre ocorre mais rapidamente, até ser atingido o ponto de saturação das fibras, em geral correspondente a um teor de umidade entre 20% e 30%.

2.2.3 Variação Dimensional

Segundo Kollmann e Côté (1968) e Giordano (1971) a perda de água livre não interfere na estabilidade dimensional da madeira, ou seja, retração ou inchamento. Tais fenômenos se manifestam somente no intervalo entre o ponto de saturação das fibras e 0% de umidade. A anisotropia ocorre de forma diversa nas três direções principais de elasticidade, tangencial, radial e longitudinal, sendo que as maiores deformações ocorrem na direção tangencial aos anéis de crescimento da madeira podendo variar de 10% a 15% em relação à dimensão da madeira verde (SKAAR, 1972). Seguindo pela radial e longitudinal, na qual a longitudinal é praticamente desprezível. A Figura 3 apresenta a anisotropia nas três principais direções, T(Tangencial), R(Radial) e L (longitudinal) no corpo de prova recomendado pela Norma NBR 7190:

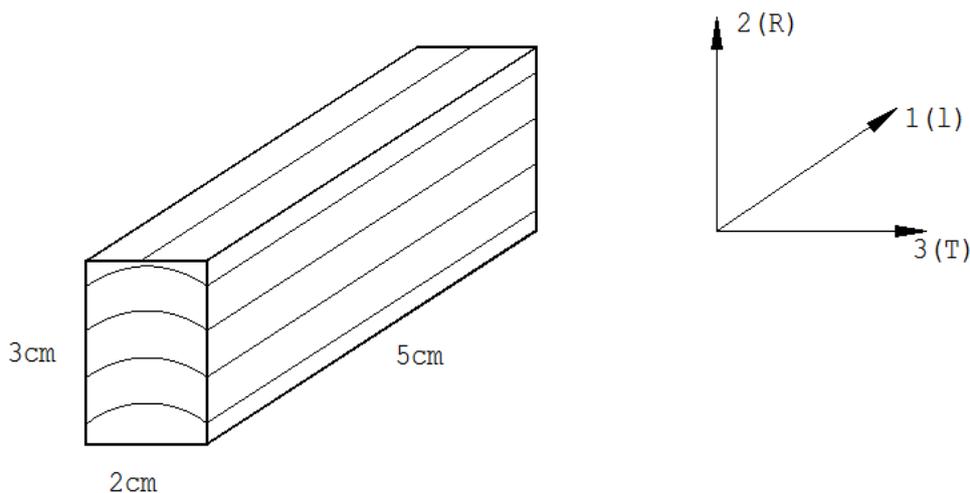


Figura 3 – Anisotropia da madeira nas três posições no corpo de prova
Fonte: Norma NBR 7190/97

A anisotropia de contração é a relação entre a contração máxima tangencial e a contração máxima radial (SCANAVACA JR.; GARCIA, 2004). A equação eq. (1) abaixo mostra como se obter a contração máxima:

$$\text{Contração máxima} = (\text{Dimensão verde} - \text{Dimensão seca} / \text{Dimensão seca}) \times 100 \quad (1)$$

A Tabela 2 mostra uma classificação da qualidade da madeira quanto sua anisotropia, razão entre a contração máxima tangencial e contração máxima radial:

Tabela 2 - Coeficiente de anisotropia

Coeficiente de Anisotropia	Qualidade da Madeira
< 1,5	Madeira muito estável
1,6 até 2,0	Média baixa
2,0 até 2,5	Média alta
>2,6	Madeira muito instável

Fonte: Klitzke e Tomaselli (2000)

O processo de contração e inchamento é geralmente restrito dentro do intervalo entre o ponto de saturação das fibras e o estado seco. A intensidade da contração ou do inchamento aumenta proporcionalmente com a dessorção ou a adsorção de umidade (HILDEBRAND, 1970).

2.3 Propriedades Mecânicas da Madeira

Força e resistência à deformação de um material são referidas como suas propriedades mecânicas. Força é a habilidade de um material de transportar cargas ou esforços aplicados. Resistência à deformação determina o quanto um material é comprimido, distorcido ou dobrado sob uma força aplicada. Deformação elástica refere-se às deformações que ocorrem instantaneamente num material quando uma carga é aplicada e recupera sua forma original quando a carga é removida (HAYGREEN; BOWYER, 1996).

A resistência é determinada pela máxima tensão que pode ser aplicada em corpos de prova isentos de defeitos do material considerado, até o aparecimento de fenômenos particulares de comportamento, restringindo o material em elementos estruturais. Geralmente estes fenômenos são os de ruptura ou de deformação específica excessiva (NBR 7190/97)

As propriedades mecânicas são características importantes para produtos de madeira com aplicações estruturais. O termo resistência é muitas vezes usado num sentido geral para se referir a todas as propriedades mecânicas. No entanto, uma

vez que há muitos tipos diferentes de forças e propriedades elásticas, é importante ser muito específico sobre o tipo de propriedades mecânicas a ser discutida. Uma madeira que é relativamente resistente com respeito a uma propriedade de força pode classificar inferior em uma propriedade diferente. O tipo de propriedade mecânica mais crítico para qualquer aplicação é determinada pelo tipo de carga a que o produto estará sujeito (HAYGREEN; BOWYER, 1996).

As propriedades mecânicas da madeira são fortemente influenciadas por fatores diversos, como idade da árvore, ângulo da grã, teor de umidade, temperatura, constituintes químicos, fadiga, apodrecimento, massa específica, constituição anatômica, duração da tensão e da deformação, radiação nuclear, falhas na madeira, presença de nós e outros defeitos (KOLLMANN; CÔTÉ, 1968).

O limite de resistência e o comportamento elástico são características próprias de cada material e, na madeira, de cada espécie. O conhecimento desta característica é adquirido através de ensaios convencionais, e obedecem as recomendações estabelecidas por normas. Geralmente os ensaios consistem na obtenção dos dados correspondentes ao carregamento lento e contínuo, aplicado a um corpo de prova especialmente preparado e das deformações resultantes (ROCHA; PAULA; SIQUEIRA, 1988).

Na determinação das propriedades mecânicas fundamentais são utilizadas madeiras isentas de defeitos, entretanto, devido às características naturais de crescimento das árvores, os produtos madeireiros variam em densidade específica, podendo conter grã cruzada ou nós e ter inclinação de grã localizada. Essas características devem ser levadas em consideração na avaliação das propriedades ou na estimativa do desempenho real de produtos madeireiros (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999).

A norma NBR 7190/97 recomenda alguns métodos de ensaios para determinação de propriedades das madeiras para projeto de estruturas, visando a caracterização completa das madeiras, a caracterização mínima e a caracterização simplificada. Além disso, contém métodos de ensaios para determinação de outras propriedades da madeira servindo exclusivamente como elementos comparativos das resistências entre diferentes espécies. Segue os ensaios recomendados pela norma NBR 7190/97:

- Umidade;
- Densidade básica e aparente;
- Estabilidade dimensional;
- Compressão paralela às fibras;
- Tração paralela às fibras;
- Compressão normal às fibras;
- Tração normal às fibras;
- Cisalhamento;
- Fendilhamento;
- Flexão;
- Dureza;
- Resistência ao impacto na flexão;
- Embutimento;
- Cisalhamento na lâmina de cola;
- Tração normal à lâmina de cola;
- Resistência das emendas dentadas e biseladas.

Ainda segundo a norma NBR 7190/97, para a investigação direta de lotes de madeira serrada considerados homogêneos, cada lote não deve ter volume superior a 12 m³. Do lote a ser investigado deve-se extrair uma amostra, com corpos de prova distribuídos aleatoriamente ao longo do lote, devendo ser representativa da totalidade do mesmo.

2.4 Densidade, Variação Dimensional e Tração, propriedades citadas na literatura como importantes para indicar usos e suas limitações

A utilização de madeira com o melhor de seu potencial requer conhecimento, fazendo com que o estudo de avaliação da qualidade da madeira seja um processo demorado e caro. Por conta disso, alguns autores indicam a densidade como um indicador da qualidade da madeira. Lobão et al. (2004) estudaram a caracterização da madeira de eucalipto com diferentes densidades utilizando a norma NBR 7190/97

concluíram que a densidade influencia intensamente a resistência mecânica da madeira.

Dias e Lahr (2004), através da análise de regressão, estimaram a partir da densidade aparente, grande parte das propriedades de resistência e rigidez da madeira, viabilizando as equações como propostas para a utilização e caracterização de espécies pouco conhecidas (Tabela 3):

Tabela 3 - Resultados da estatística de regressão

RESULTADOS DA ESTATÍSTICA DE REGRESSÃO				
Relações	N	r ²	Função	Erro padrão
Relação 1	40	0,77104	$f_{c0} = 0,0714 \rho_{apa}^{1,006}$	0,05395
Relação 2	40	0,62773	$f_{t0} = 0,1561 \rho_{apa}^{0,9472}$	0,07176
Relação 3	40	0,78433	$f_{v0} = 0,0237 \rho_{apa}^{0,9691}$	0,05648
Relação 4	40	0,75747	$f_M = 0,0953 \rho_{apa}^{1,0344}$	0,05759
Relação 5	40	0,64911	$E_{c0} = 21,86 \rho_{apa}^{0,9761}$	0,07061
Relação 6	40	0,68672	$E_{t0} = 53,77 \rho_{apa}^{0,8407}$	0,05587
Relação 7	40	0,71312	$E_{M0} = 27,30 \rho_{apa}^{0,9374}$	0,05850
Relação 8	38	0,84768	$f_{H0} = 0,0188 \rho_{apa}^{1,2775}$	0,05450
Relação 9	38	0,92249	$f_{H90} = 3 \times 10^{-4} \rho_{apa}^{1,8707}$	0,05457
Relação 10	36	0,71262	$T = 2 \times 10^{-6} \rho_{apa}^{1,9720}$	0,12489

Fonte: Dias e Lahr (2004)

ρ_{ap} = densidade aparente (12% de umidade);

f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras;

f_{t0} = resistência à tração paralela às fibras;

f_{v0} = resistência ao cisalhamento paralelo às fibras;

f_M = resistência à flexão estática;

E_{c0} = módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras;

E_{t0} = módulo de elasticidade na tração paralela às fibras;

E_{M0} = módulo de elasticidade na flexão estática;

f_{H0} = dureza paralelas às fibras;

f_{H90} = dureza normal às fibras;

T = Tenacidade;

r² = coeficiente de determinação.

Armstrong et al. (1984) apud Dias e Lahr (2004), encontrou um coeficiente de determinação (r^2) igual 0,79 na relação da densidade aparente e módulo de elasticidade à flexão.

Rocha (1994) através da aplicação da distribuição Weibull, assegura que a simples determinação da densidade básica é suficiente para estimar as propriedades de resistência em amostras pequenas, livres de defeitos, a fim de usá-las nos cálculos de estruturas.

De acordo com Keinert Jr. (1980), a densidade controla a amplitude das mudanças dimensionais que ocorrem com a madeira, em função das mudanças no conteúdo de umidade abaixo do ponto de saturação das fibras. Panshin e De Zeeuw (1980), afirmaram que a variabilidade da maior parte das propriedades mecânicas da madeira pode ser estimada com base na variação da densidade. Os autores dizem que isso pode ser explicado porque as propriedades de resistência à flexão estática, módulo de ruptura e módulo de elasticidade, estão correlacionadas com a densidade, a qual, por sua vez, também está correlacionada com as dimensões das células. Ainda, segundo os mesmos autores, a relação entre densidade e as propriedades mecânicas pode ser alterada pela presença de extrativos que se adicionam à massa lenhosa, aumentando, principalmente, a resistência à compressão axial da madeira.

Nos estudos de Oliveira (1997), com espécies de densidades médias iguais apresentaram propriedades mecânicas distintas e um exemplo é a Peroba-rosa, com alta densidade e baixo módulo de elasticidade.

Outros estudos comprovam o efeito da localização geográfica na influência sobre o módulo de ruptura e módulo de elasticidade em flexão estática (McALISTER; CLARK III, 1991).

Estudos realizados por Paula et al. (1986), com propriedades mecânicas de trinta e nove espécies arbóreas do Estado da Amazônia, constatou que espécies com densidades básicas similares mostram valores de propriedades mecânicas diferentes. Segundo Nascimento (1993), também constatou situação idêntica ao investigar através de análises estatísticas as variabilidades da densidade básica e de propriedades mecânicas de madeiras da Amazônia.

Zhang (1994) estudou relações entre densidade básica com propriedades mecânicas em 342 espécies de madeiras chinesas – 74 coníferas e 268 folhosas, baseando-se na constituição anatômica e na classificação taxonômica. Segundo

resultados, as relações entre as densidades e propriedades mecânicas variam acentuadamente.

Pigozzo (1982), afirmou não ser significativo o efeito da densidade sobre o módulo de elasticidade na resistência à compressão paralela às fibras para a espécie peroba-rosa.

Nos gêneros *Pinus* e *Araucaria*, as características tecnológicas são influenciadas também pela presença de madeira com propriedades diferenciadas, como lenhos de reação, juvenil, inicial e tardio (KELLISON, 1981).

Quanto à relação da densidade com a retratibilidade, para Kollman e Côté (1968), a retração da madeira aumenta com o aumento de sua massa específica. Chafe (1986) e Chafe (1987) afirma que esta relação não é válida para eucaliptos devido a excessiva quantidade de extrativos encontrada neste gênero.

Longsdon (2003) apresentou um coeficiente de determinação (R^2) de 0,13 para a relação entre a densidade aparente e a retração volumétrica da madeira para espécies do Estado do Mato Grosso.

Nos estudos realizados por Chimelo (1980), com 32 espécies arbóreas da estação experimental de Curuá-Una, foram obtidos coeficientes de determinação variando de 0,02 a 0,09 nas relações entre as retrações tangenciais e radiais e densidade básica. Rocha (1994) admite que, devido aos baixos coeficientes de correlação entre as retrações e a densidade básica encontrada em sua pesquisa, as mesmas tem maior associação com a anatomia e os extrativos da madeira do que com a densidade básica.

A variação dimensional da madeira citada pela literatura como uma propriedade física importante é questionável na questão do processo de determinação. Segundo Gava (2009) dentro dos ensaios recomendados pelas normas COPANT 462, NBR 7190/97 e ASTM-D143, os corpos de prova diferem entre si, concluindo que a retratibilidade ou inchamento é dependente das características geométricas dos corpos de prova.

Segundo, Kollmann e Côté (1968) e Giordano (1971), devido às dimensões das peças comerciais, na prática não existe retrações e/ou inchamentos puros nas direções radial, tangencial ou longitudinal. Isso porque as peças serradas não apresentam somente esta ou aquela direção, mas uma combinação entre elas. No entanto, as deformações reais por retração ou inchamento nas diferentes direções de corte das peças comerciais corresponderão apenas a uma parcela de

deformação pura, além de sofrerem influência das demais direções, bem como os desvios de grã ao longo da peça.

Na prática, é importante considerar que as deformações por retração e inchamento nunca ocorrerão na sua totalidade. Um fator responsável à esse fato é a dimensão comercial da peça, há uma diferença da superfície à parte mais interna da madeira na troca de umidade com o ambiente.

Segundo Hansen (1987) a madeira retrai em torno de 1/30 do seu potencial total. Outro fator que comprova esse fato é o intervalo de umidade que essas variações acontecem. A variação dimensional ocorre somente entre o ponto de saturação das fibras (PSF) e 0% de umidade.

Uma vez que a madeira encontra-se em equilíbrio com o ambiente, dificilmente ocorrerá uma situação na qual a madeira atinja novamente o PSF ou 0% de umidade (SKAAR, 1972). Sendo assim, nunca a madeira em situação de uso, irá retrair ou inchar na sua totalidade.

Conforme Hansen (1987), da umidade de saturação do PSF à umidade de equilíbrio higroscópico (UEH), a madeira retrai em torno de 1/2 a 2/3 do total previsto. Entretanto, as especificações das normas, podem ocasionar em valores muito diferentes do que realmente ocorrem no uso real da madeira.

Conforme a madeira retrai ou incha, além das variações nas dimensões, podem surgir defeitos na madeira como rachaduras, empenamentos e em condições de umidade, apodrecimentos, muitas vezes, inviabilizando o uso. Não obstante, por essas razões, Cerchiari, Gava e Garcia (2010) que avaliaram produtos para impermeabilização da madeira referem-se a algumas alternativas correntes para controlar os efeitos da variação dimensional consequente da variação do teor de umidade da madeira, as quais compreendem métodos essencialmente mecânicos, como a superposição de camadas finas orientadas ortogonalmente entre si (chapas compensadas) e métodos químicos impermeabilizantes com a utilização de produtos compostos de resinas naturais ou sintéticas, como tintas, vernizes, seladoras e ceras, além de soluções ou emulsões hidrorrepelentes ou hidrofugantes.

Segundo a norma brasileira NBR 7190/97 para projeto estrutural, a caracterização mínima de espécies pouco conhecidas deve ser por meio da determinação dos valores de resistência à compressão paralela às fibras, resistência ao cisalhamento paralelo às fibras, densidade básica, densidade aparente e resistência à tração paralela às fibras, permitindo-se admitir que na impossibilidade

da realização do ensaio de tração uniforme, que este valor seja igual ao da resistência à tração na flexão;

Em outra tentativa de direcionar uma madeira e indicar usos, Pigozzo, Pletz e Lahr (2000) relatam que as espécies estruturais poderiam ser comercializadas não por espécie, mas por classes de resistência, podendo agrupar várias espécies, sendo esta uma recomendação da NBR 7190/97 (Quadros 1 e 2). Ao projetar uma estrutura em madeira, adotaria apenas as classes de resistência para o desenvolvimento do projeto, tendo certeza de que as peças teriam as características adequadas.

CONÍFERAS – Valores da condição de referência U=12%					
Classes	$f_{c0,k}$ (MPa)	$f_{v0,k}$ (MPa)	$E_{c0,m}$ (MPa)	$\rho_{bás}$ (kg/m ³)	ρ_{12} (kg/m ³)
C20	20	4	3.500	400	500
C25	25	5	8.500	450	550
C30	30	6	14.500	500	600

Quadro 1 – Classes de resistência para as coníferas
Fonte: Norma NBR 7190/97 – Adaptado

DICOTILEDÔNEAS – Valores da condição de referência U=12%					
Classes	$f_{c0,k}$ (MPa)	$f_{v0,k}$ (MPa)	$E_{c0,m}$ (MPa)	$\rho_{bás}$ (kg/m ³)	ρ_{12} (kg/m ³)
C20	20	4	9.500	500	650
C30	30	5	14.500	650	800
C40	40	6	19.500	750	950
C60	60	8	24.500	800	1000

Quadro 2 – Classes de resistência para as dicotiledôneas
Fonte: Norma NBR 7190/97 - Adaptado

$f_{c0,k}$ = resistência à compressão paralela às fibras, valor característico;

$f_{v0,k}$ = resistência ao cisalhamento, valor característico;

$E_{c0,m}$ = módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras, valor médio;

$\rho_{bás}$ = densidade básica da madeira, valor médio;

ρ_{12} = densidade aparente a 12% de umidade, valor médio.

A norma NBR 7190/97 recomenda que na impossibilidade da realização do ensaio de compressão simples, permite-se avaliar o módulo de elasticidade $E_{co,m}$ por meio de ensaio de flexão. Por este ensaio, determina-se o módulo aparente de elasticidade na flexão E_m , admitindo-se as seguintes relações:

$$\text{Coníferas: } E_m = 0,85 E_{co}$$

$$\text{Dicotiledôneas: } E_m = 0,90 E_{co}$$

Quando a madeira é solicitada à flexão simples, normalmente sujeitas a cargas dispostas verticalmente, resultará em esforços de compressão, cisalhamento e tração.

Na flexão simples, ocorre um aumento da área comprimida na seção e a redução da área tracionada, podendo romper por tração (CALIL; LAHR; DIAS, 2003).

Na prática, as flexões aparecem por aplicação de situações de carga muito variadas, como cargas uniformemente distribuídas, uma ou várias cargas pontuais, ou combinações com outros esforços. Resumindo, a flexão engloba uma grande parte de toda a ciência estrutural (SANTOS, 2007).

Na flexão estática, determina-se o módulo de ruptura (f_M) e o módulo de elasticidade da madeira (E_{M0}). Compreende-se como elasticidade, a propriedade que o material apresenta, em maior ou menor grau, de se deformar dentro de certos limites, por efeito de uma ação exterior de flexão e recuperar a sua forma ou dimensões iniciais quando essa força exterior for cessada. A madeira apresenta certo grau de elasticidade, característica muito vantajosa no que diz respeito ao seu comportamento em serviço, uma vez que permite uma redistribuição de cargas por todos os elementos de um conjunto estrutural. O parâmetro mais usual para representar a elasticidade é o módulo de elasticidade (E_{M0}). O conhecimento quantificado desta característica permite calcular matematicamente qual a deformação esperada para certas condições de solicitação mecânica exterior, utilizando-se conhecimentos gerais da Resistência dos Materiais. Em suma, a importância do módulo de elasticidade é fundamental na caracterização de um determinado material, permitindo fazer os cálculos que definem a forma e as dimensões das peças para satisfazer pré-determinadas condições de utilização (SANTOS, 2007). Ainda segundo o mesmo autor, o módulo de elasticidade pode ser medido em relação a vários tipos de esforços, compressão, tração, flexão, torção em

diferentes direções para materiais orientados como a madeira. O mais usual é o E_{M0} na flexão, pois é o que tem um efeito mais visível e importante numa estrutura. Outro aspecto importante da informação prestada pela determinação experimental prestada do E_{M0} resulta no fato de permitir essa avaliação por métodos não destrutivos.

Existem várias técnicas não destrutíveis e equipamentos para a classificação mecânica de peças estruturais de madeira. As técnicas e equipamentos mais utilizados são os de vibração transversal, propagação de ondas de ultra-som e máquina de classificação por tensões Machine Stress Rating (MSR). Estes métodos apresentam-se na literatura como boas alternativas para a determinação do módulo de elasticidade (E_{M0}) em peças com dimensões estruturais e de estimadores da resistência da madeira (f_M). Ribeiro (2009) utilizou técnicas de análise de imagem, colorimetria, de espectroscopia de infravermelho próximo (Near infrared spectroscopy – NIRS) e de ondas ultrassônicas para caracterizar tecnologicamente madeiras de *Pinus* e *Eucalyptus*, concluindo que a densidade, o E_{M0} e o f_M apresentaram resultados expressivos para o estudo.

Furiati (1981) comprovou que, através do conhecimento do módulo de elasticidade, é possível classificar a madeira de acordo com sua resistência, uma vez que o valor efetivo do módulo de elasticidade é um próprio parâmetro que define a resistência do material. O Quadro 3 reúne as três variáveis: módulo de elasticidade (E), densidade aparente (D) e umidade (H) nas principais equações envolvidas nas análises do autor:

Equação	Coefficiente de correlação
$\sigma f = 0,008E + 463,25D - 5,97H - 233,15$	0,88150
$\sigma f = 0,008E + 552,14D - 398,20$	0,87206
$\sigma f = 0,008E + 54,27$	0,85116
$\sigma f = 395,30D + 476,45$	0,13614

Quadro 3- Equações e coeficientes de correlações

σf = tensão de ruptura (N/mm²);

E= módulo de elasticidade (N/mm²);

D = densidade aparente (12% de Umidade: g/cm³);

H= umidade (decimal).

Segundo Furiati (1981) nestas equações o módulo de elasticidade (E) foi obtido por ensaio de laboratório e pelo ensaio de obra, não apresentando diferença estatística entre eles. A densidade (D) foi determinada pelo processo do paquímetro ou Palmer; e a umidade através do método convencional: peso úmido da amostra, menos o peso seco em estufa, dividido pelo peso seco. O autor assegura a probabilidade de 85, 12% de estimar σ_f usando somente a variável E.

Embora a literatura contenha muitos estudos, há muitas controvérsias.

2.5 Espécies emergentes

O aproveitamento de florestas de rápido crescimento na produção de madeira serrada é fundamental na diminuição das concentrações de CO₂ na atmosfera. O gás absorvido da atmosfera é fixado na madeira durante toda a existência dela, sendo mais efetiva quanto mais duradoura for a peça de madeira, isto é, enquanto a madeira existir na forma de móveis, objetos de madeira, construções e componentes para edificações, a atmosfera terrestre estará com menor concentração de CO₂, o principal responsável pelo efeito estufa.

Assim sendo o uso do produto florestal como madeira sólida além dos benefícios econômicos e sociais, gera também consequências positivas para o meio ambiente (PONCE, 1995).

O eucalipto é considerado uma madeira de crescimento rápido, porém apresenta algumas dificuldades no processamento devido as tensões de crescimento. Segundo Nicholson (1973) o fenômeno das tensões de crescimento está presente em todos os gêneros de árvores, mas o gênero *Eucalyptus*, é o exemplo da madeira comercial mais notável, onde os níveis de tensão podem ser muito altos.

As principais dificuldades no processamento da madeira de eucalipto para serraria, e que são de difícil controle: a tendência ao rachamento das extremidades das toras antes do desdobro, a tendência ao rachamento das tábuas durante e após desdobro. Esses defeitos sempre ocorrem com maior ou menor intensidade neste processo de transformação, mesmo utilizando técnicas adequadas (BARCHET, 2001).

Outras rachaduras podem ocorrer no processo de secagem. As rachaduras aparecem como consequência da diferença de retração nas direções radial e

tangencial da madeira e de diferenças de umidade entre regiões contíguas de uma peça, durante o processo de secagem. Como as camadas internas impedem as superficiais de se retraírem, aparecem tensões que, excedendo a resistência da madeira à tração perpendicular às fibras, provocam o rompimento dos tecidos lenhosos. Normalmente, a ruptura ocorre nos tecidos que compõem os raios, constituídos de células parenquimáticas. As rachaduras de topo aparecem, geralmente, nos raios, que são constituídos por células parenquimáticas de reduzida resistência mecânicas (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985).

Para evitar é necessário ajustar as condições psicrométricas do ar circulante com a capacidade específica de movimentação interna da madeira em secagem. Esse ajuste é expresso pelo programa de secagem, procedimentos que indicam os valores da temperatura e da umidade relativa do ar em função do teor de umidade da madeira (JANKOWSKY, 2009).

2.5.1 *Leucaena leucocephala* (Leucena)

A *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit, conhecida popularmente como Leucena, é uma espécie nativa do México e América Central, apresentando distribuição pantropical. A espécie é considerada uma planta invasora em vários países de todos os continentes, exceto na Antártica, tendo sido relatado, recentemente, seu comportamento invasivo pela primeira vez na Europa (DANA et al., 2003). Essa planta apresenta grande potencial de utilização por apresentar grande número de variedades com diferentes tamanhos e hábitos de crescimento, sendo muito empregada, por exemplo, no reflorestamento de áreas degradadas, visto que melhora as qualidades físico-químicas e biológicas do solo, como fonte de proteína para alimentação animal, mas neste caso com restrições, devido a presença de substâncias tóxicas nas folhas da Leucena (WEE; WANG, 1987).

Utilizada na produção de madeira para lenha (MENDES, 1985); polpa, celulose, tábuas, taco, parque, chapa de partículas (NFTA, 1985); produção de forragem para animais (KLUTHCOUSKI, 1982); sombreamento de culturas, quebra-vento, proteção contra o fogo (NITROGEN FIXING TREE ASSOCIATION - NFTA, 1985).

A cobertura do solo com Leucena apresenta propriedades de controle de plantas daninhas e que esse efeito ocorre devido à presença de aleloquímicos na

parte aérea da planta (BUDELMAN, 1988). Mostra-se tolerante a fenômenos de toxicidade associados ao solo, conferindo uma maior adaptabilidade (SHELTON et al., 1991).

De acordo com Ribeiro et al. (2001), a *Leucena* é uma leguminosa perene, de crescimento rápido, atingindo até 3 m no primeiro ano e seu sistema radicular profundo propicia além da reciclagem de nutrientes do subsolo, uma absorção de água das camadas profundas, fazendo com que a planta cresça e produza massa verde durante o ano todo. Seu crescimento rápido, com abundante produção de folhagem e madeira, possibilita que plantas com três a quatro anos atinjam produções superiores a 200m³ de biomassa por hectare (PEREIRA, 1994). Segundo Bêde et al. (1985) a *Leucena* é adequada para o cultivo em áreas com precipitação pluviométrica entre 600 e 1700 mm, embora na Indonésia ela venha sendo cultivada ao longo dos anos sob precipitação superior a 3900 mm anuais. Em áreas com precipitação pluviométrica média anual de 250 mm, a *Leucena* pode apresentar-se como espécie dominante (FRANCO; SOUTO, 1986).

O melhor crescimento da *Leucena* é obtido em áreas nas quais chove de 600 a 1.700 mm ano⁻¹; ainda segundo esse autor, ela suporta grandes diferenças de regimes de precipitação, luminosidade, salinidade do solo, fogo, geadas leves e épocas curtas de estiagem (SEIFFERT, 1988).

A *Leucena* possui em média vinte anos de elevada produção. Através de um manejo adequado, pode permanecer sem grandes variações de produção de matéria seca por volta de cinquenta anos (SHELTON et al., 1991).

2.5.2 *Corymbia maculata* (Maculata)

O *Eucalyptus maculata* foi transferido por Hill e Johnson (1995) para o gênero *Corymbia* em revisão filogenética. Segundo Wallis (1970) o *C. maculata* possui ótimas características para ser utilizado em estruturas de madeira, sendo a espécie mais utilizada para pranchas (hardboards) no estado australiano de Queensland e a quinta espécie em New South Wales. Ao contrário do *C. citriodora*, de propriedades mecânicas semelhantes, o *C. maculata* é muito fácil de ser conduzido nos viveiros e relativamente fácil de estabelecer-se nos plantios (TURNBULL, 1984).

É uma árvore alta que usualmente atinge 35 a 45 m de altura e 1 a 1,3 m de diâmetro à altura do peito (DAP). Em solos bons pode atingir 70 m de altura e mais de 3 m de DAP. Em solos pobres atinge 20 a 35 m de altura e DAP de 0,7 a 1,2 m.

Tem boa forma do fuste. A espécie tolera uma ampla variação de solos e o melhor desenvolvimento é obtido em solos bem drenados, de moderada profundidade. É comum a ocorrência de solos derivados de arenitos. Todavia é mais comum nos vales encharcados ou não muito secos. É de Floresta Aberta Alta e as principais espécies associadas são: *E. crebra*, *E. pilularis*, *E. microcorys*, *E. proprinqua*, *E. punctata*, *E. saligna*, *E. paniculata*, *E. moluccana*, *E. acmenoides*, *Tristania conferta*, *Casuarina Callitris*, *Angophora* e Acácia. A espécie regenera-se bem por brotação das cepas, é moderadamente susceptível à geadas, secas pronunciadas, e ao fogo. Recomenda-se a espécie para altitudes inferiores a 1.600 m (IPEF).

A madeira de *C. maculata* apresenta boa resistência ao ataque de cupins (PAES, 2002)

Fácil de trabalhar, pouco corrosivo para pregos e parafusos de alumínio. O teor de extrativos elevado pode ser um problema quando usado para colagem com adesivos do tipo fenólicos. Para uma boa colagem, uma pressão de cerca de 1000 kPa e temperaturas acima de 200° C são normalmente necessários e um baixo teor de umidade, de preferência entre 8% e 10 %. Indicada para engenharia de construção, onde a resistência ao choque é importante, cabos de ferramentas, pisos de casas, postes, construção naval e madeira compensada (AUSTRÁLIA, 2008).

Interamnense (1998) verificou que o *C. maculata* é uma espécie com alto potencial para a utilização em escala comercial na indústria moveleira e laminadora, pois seus painéis apresentaram boa estabilidade dimensional.

O *C. maculata* cresce principalmente em encostas e cumes vale onde os solos não são muito secos. Ocorre em uma grande variedade de tipos de solo, incluindo ardósias e arenitos, mas mostra melhor desenvolvimento em solos bem drenados. Importante espécie de madeiras comercial capaz de produzir madeira serrada excelente para uma vasta gama de utilizações. Os usos incluem construção pesada, estacas, postes, treliças de alta resistência, a fabricação de casa, pisos, laminados, compensados e construção de barcos. Espécie utilizada para ferramenta de alto impacto e também é usado para varas de pólo e pranchas de mergulho (PRIMEFACTS, 2010).

2.5.3 Híbrido *torelliodora* (*Torelliodora*)

A busca de complementaridade entre espécies de *Eucalyptus*, visando a aumentar o número de características desejáveis, ou a própria heterose, verificada em vários cruzamentos, representa um caminho que encurta as distâncias entre as demandas industriais e seu efetivo atendimento pelos programas de melhoramento genético. Desta forma a hibridação interespecífica, principalmente em razão da manifestação do fenômeno da heterose, relativamente comum no gênero *Eucalyptus*, tem se mostrado uma alternativa de grande impacto (ASSIS, 2001).

Ainda segundo o mesmo autor, a evolução da qualidade das florestas proporcionada pela utilização comercial da heterose, através da propagação vegetativa de híbridos de *Eucalyptus* no Brasil, é uma forte evidência de que se trata de um fenômeno de grande utilidade para atingir, rapidamente, altos níveis de produtividade florestal. Neste sentido, a contribuição que a hibridação de *Eucalyptus* deu para o desenvolvimento florestal do Brasil é inegável. A maioria dos benefícios proporcionados pelo uso de híbridos, principalmente a produtividade florestal, é creditada à manifestação de heterose para crescimento e à complementaridade que certas espécies apresentam em relação a características que se combinam para produzir genótipos mais adequados aos distintos ambientes de plantio.

Esse experimento conta com um cultivar denominado vulgarmente de Eucalipto *torelliodora*, sendo que se trata de um híbrido entre o *Corymbia torelliana* x *Corymbia citriodora*. Segundo Ferreira (1992), o *Corymbia torelliana* é uma espécie característica de floresta fechada que produz alta quantidade de matéria orgânica, apresenta sistema radicular predominantemente superficial e cobre bem o solo. O *Corymbia citriodora* é a espécie de maior interesse por parte dos pequenos e médios produtores em função da qualidade da sua madeira. No entanto, o baixo incremento anual e a susceptibilidade a pragas e doenças restringem o seu plantio. O uso de híbridos com essa espécie é uma das alternativas na busca de novos materiais que apresentem bom incremento anual e tolerância a pragas e doenças (IPEF 2008).

Otte (2001) afirma que o eucalipto procedente de reflorestamentos, substituiu as nativas de origem tropical com propriedades amplamente vantajosas e está sendo cada vez mais aceito no mercado nacional e internacional.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material

As espécies selecionadas para a pesquisa foram a *Leucaena leucocephala* (Leucena), o *Corymbia maculata* (Maculata) e o Híbrido *Torelliodora* (*Torelliodora*).

A Leucena foi coletada com 15 anos de idade de um talhão pertencente ao Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo (ESALQ-USP) localizada no município de Piracicaba – SP (22° 42'30'' S, 47° 38'00'' W), à altitude de 550m (Figura 4(a) e (b)).



(a)



(b)

Figura 4 - Árvore típica de *Leucaena leucocephala* (Leucena) da ESALQ/USP (a); casca (b)

O Maculata e o *Torelliodora* foram coletados da Estação Experimental de Ciências Florestais de Anhembi, SP, localizada no município de Anhembi- SP (22° 20'S, 48° 10'W), à uma altitude de 100-400m, sendo o Maculata com 25 anos do talhão 14, experimento 117 (Figura 5 (a) e (b)) e o *Torelliodora* com 24 anos de idade do talhão 06, experimento 124 (Figura 6 (a) e (b)).



(a)



(b)

Figura 5 – Árvore típica de *Corymbia maculata* (Maculata) da estação experimental de Anhembi/SP (a); casca (b)



(a)



(b)

Figura 6 – Árvore típica do híbrido *Torelliodora* (Torelliodora) da estação experimental de Anhembi/SP (a); casca (b)

A quantidade de árvores estudadas de cada espécie foi estabelecida segundo Aprilanti, Parra e Garcia (2010) que concluíram que os valores médios do módulo de elasticidade e da resistência à flexão podem ser obtidos de forma confiável numa

amostra de apenas seis corpos de prova, sendo o suficiente para representar um lote da espécie estudada. Foram escolhidas e identificadas, 6 árvores de cada espécie com base no diâmetro à altura do peito (DAP), maior ou igual a 25 cm (Figura 7 (a) e (b)), representando melhor indicação para serrarias, pois toras, principalmente as do gênero *Eucalyptus*, com menores diâmetros, produzem tábuas com maiores porcentagens de defeitos, advindas das tensões de crescimento.



(a)



(b)

Figura 7- Árvores selecionadas de Maculata (a); identificação (b)

Após a derrubada das árvores, com o auxílio de motosserra, os fustes de *Leucena* foram subdivididos em toras de 2m, comprimento máximo conseguido devido à limitação imposta pela primeira ramificação e os fustes de *Maculata* e *Torelliodora*, foram subdivididos em toras de 3m de comprimento considerado adequado para serrarias. Em todos os casos foram tomadas somente as toras basais.

As toras foram transportadas e estocadas na serraria do Departamento de Recursos Florestais (ESALQ/USP) por aproximadamente 3 meses em local coberto e moderadamente ventilado (Figura 8).



Figura 8 – Toras estocadas em local coberto e parcialmente ventilado

3.2 Métodos

Após esse período de estocagem, foram feitas medições dos diâmetros e das rachaduras de extremidade de tora, a fim de observar-se as características pré-desdobro dessas espécies e planejar o desdobro para evitar perdas de material

3.2.1 Avaliação das toras

a) Diâmetros das toras sem casca: A mensuração do diâmetro das toras foi realizada com trena, sendo tomadas duas medidas aproximadamente perpendiculares entre si (maior e menor diâmetro de cada extremidade), com o intuito de se obter um valor médio conforme indicado na eq.(2).

$$D_{sc} = \frac{D_{sc} + d_{sc}}{2} \quad (2)$$

D_{sc} = diâmetro médio sem casca (cm) da extremidade maior (Base)

d_{sc} = diâmetro médio sem casca (cm) da extremidade menor (Topo)

b) Índice de rachaduras das extremidades das toras: Estas avaliações foram efetuadas após dois meses da derrubada das árvores, de forma a verificar os efeitos das rachaduras de tensão de crescimento e da secagem no desdobro. Essas

rachaduras foram convertidas em índices similares ao da metodologia do CSIR – South African Council for Scientific and Industrial Research. Avaliou-se o índice de rachaduras das extremidades das toras fazendo marcações com o auxílio de giz de cera, sendo localizadas e marcadas de vermelho, as rachaduras que se iniciavam na medula, referentes à tensão de crescimento (IR1) e marcada de azul as rachaduras nos raios, referentes à secagem (IR2) (Figura 9 (a) e (b)).



(a)



(b)

Figura 9 - Avaliação visual das rachaduras de extremidade (a); cores vermelha e azul indicando respectivamente as rachaduras originárias da tensão de crescimento e da secagem (b)

Foram realizados os cálculos dos índices de rachaduras IR1 eq. (3) e IR2 eq.(4), conforme os pesos especificados nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4 – Classes e pesos do IR1(índice de rachadura de tensão de crescimento)

Classe	IR1	Peso
1	Rachadura que se inicia na medula, mas não alcança a periferia	1
2	Rachadura que inicia na medula e se estende até a periferia	2
2	Abertura da rachadura medida na periferia ao longo do perímetro	Valor em mm

$$IR1 = nR_m + nR_p \cdot 2 + \sum A \quad (3)$$

nR_m = número de rachaduras da classe 1;

nR_p = número de rachaduras da classe 2;

$\sum A$ = somatório dos mm das aberturas das rachaduras.

Tabela 5 – Classes e pesos do IR2 (índice de rachadura devido à secagem)

Classe	IR2	Peso
3	Rachaduras de comprimento menor do que a metade do raio da tora	0,5
4	Rachaduras de raios com comprimento maior do que a metade do raio da tora	1

$$IR2 = nR_r \cdot 0,5 + nR_R \quad (4)$$

nR_r = número de rachaduras da classe 3;

nR_R = número de rachaduras da classe 4.

Os resultados de IR1 e IR2 da base e do topo para cada tora foram então, somados.

3.2.2 Desdobro das toras

O processamento mecânico das toras foi efetuado na serraria do Departamento de Recursos Florestais da ESALQ/USP de forma a manter um adequado controle da qualidade das operações e do material. O desdobro das toras foi realizado numa serra de fita simples, de diâmetro do volante igual a 110 mm, carro porta tora tipo semipesado, com velocidade de avanço de aproximadamente 7,5m/minuto, espessura de corte de 3,0mm, largura da lâmina de 12 cm e 7,5m de comprimento. O método utilizado foi baseado no método de Barchet (2001) com cortes alternados, para diminuir a manifestação das tensões de crescimento (Figura 10).



Figura 10 - Sequência de cortes no desdobro adotado na pesquisa

Nesse método os cortes são feitos em relação ao eixo longitudinal da tora. Depois de um ou dois cortes sucessivos em um mesmo lado da tora, esta é girada em 180° seguindo-se um número igual de cortes do lado oposto. A seguir, o bloco remanescente é girado 90° e desdobrado em tábuas por cortes também balanceados (Figura 11).



Figura 11 - Cortes tangenciais

As tábuas foram retiradas devidamente orientadas, ou seja, com faces tangencial e radial bem definidas. Em seguida foram empilhadas e tabicadas (Figura 12), a fim de secarem lentamente até atingirem a Umidade de Equilíbrio Higroscópico (UEH), evitando o aparecimento de defeitos.



Figura 12 - Tábuas e pranchas empilhadas para secagem lenta

3.2.3 Avaliação do teor de umidade

As tábuas ficaram empilhadas por 4 meses até o início do controle do teor de umidade.

a) Controle do teor de umidade:

Para o controle do teor de umidade da madeira, foi tomada uma tábua de cada árvore mais próxima da medula. Retirou-se amostras temporárias (1.1) e (1.2) de 5 cm de largura com distância maior de 50cm das extremidades conforme Figura 13:

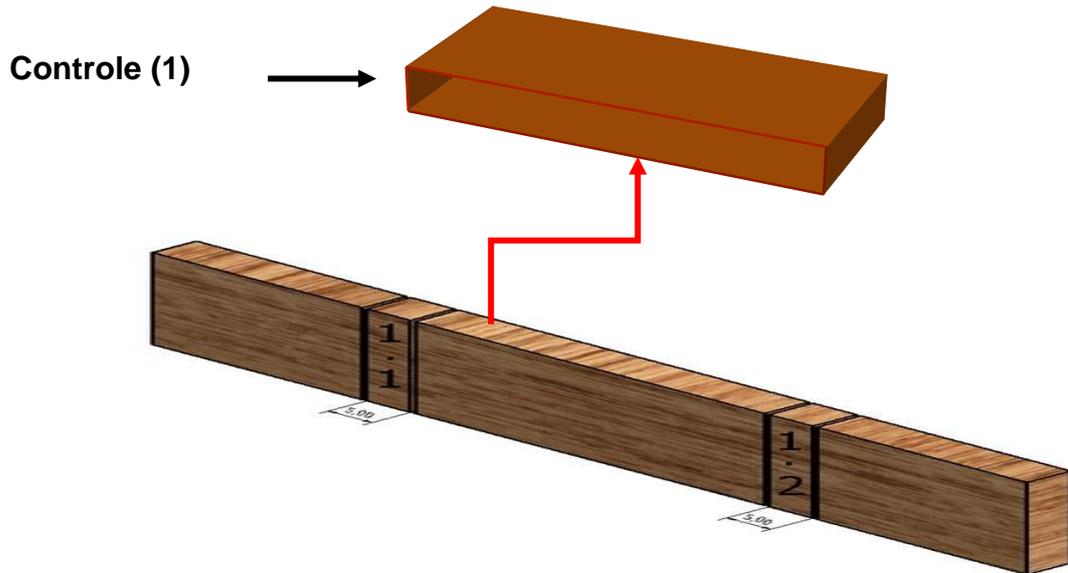


Figura 13 - Esquema de retirada das amostras para controle da umidade

As amostras temporárias (1.1) e (1.2), foram pesadas nos seus estados úmido e depois seco em estufas até atingirem peso constante, 0% de umidade. Em seguida calculou-se o teor de umidade para cada amostra conforme eq.(5):

Amostra (1.1)

$$U_{1.1} = \frac{M_{1.1u} - M_{1.1s}}{M_{1.1s}} \times 100 \quad (5)$$

$U_{1.1}$ = teor de umidade da amostra (1.1);

$M_{1.1u}$ = massa úmida da amostra (1.1);

$M_{1.1s}$ = massa seca (estufa) da amostra (1.1);

O mesmo processo foi feito para a amostra (1.2) eq. (6):

Amostra (1.2)

$$U_{1.2} = \frac{M_{1.2u} - M_{1.2s}}{M_{1.2s}} \times 100 \quad (6)$$

$U_{1.2}$ = teor de umidade da amostra (1.2);

$M_{1.2u}$ = massa úmida da amostra (1.2);

$M_{1.2s}$ = massa seca (estufa) da amostra (1.2).

Após o cálculo do teor de umidade para as duas amostras (1.1) e (1.2), calculou-se o teor de umidade da tábua através da média do teor de umidade obtida destas duas amostras (eq. 7):

$$U1 = \frac{U1.1 + U1.2}{2} \quad (7)$$

U1= teor de umidade;

U_{1.1} = teor de umidade da amostra (1.1).;

U_{1.2} = teor de umidade da amostra (1.2).

Em seguida, através do teor de umidade da tábua, foi calculada a massa seca estimada eq.(8), referente à amostra Controle (1), parte interna da tábua (Figura 13), a fim de calcular o teor de umidade da árvore. Para o controle do teor de umidade foram feitas novas pesagens do Controle (1), calculando-se o teor de umidade atual conforme eq. (9) até atingirem peso constante, ou seja, umidade de equilíbrio higroscópico (UEH):

$$M1 \text{ estimada} = \frac{M1u}{\frac{U1}{100} + 1} \quad (8)$$

M1estimada= massa seca estimada da amostra Controle (1);

M1u= massa úmida do Controle (1);

U1= teor de umidade da tábua.

b) Cálculo do Teor de umidade atual:

$$U \text{ atual} = \frac{M1 \text{ atual} - M1 \text{ estimado}}{M1 \text{ est.}} \times 100 \quad (9)$$

U atual = teor de umidade atual da amostra Controle (1);

M1= massa atual da amostra Controle (1);

M1s estimada = massa seca estimada da amostra Controle (1).

Pode-se inferir que as amostras estavam secas, isto é, com a umidade em equilíbrio higroscópico (UEH) quando apresentavam uma variação menor ou igual a 0,5% entre as duas leituras de peso. O acompanhamento da secagem foi feito por 202 dias pelo método gravimétrico utilizando-se uma balança digital com precisão de 0,01g.

As madeiras precisavam estar secas (UEH) para dar início aos ensaios mecânicos a fim de que não houvesse interferência da umidade nos resultados.

3.2.4 Avaliação do módulo de elasticidade (E_{M0}) em flexão de peças na condição real de uso

A norma NBR 7190/1997 não faz referência a ensaios que visem a determinação das propriedades de elasticidade e resistência em peças de dimensões estruturais de madeira serrada, restringindo-se a análise à corpos de prova de pequenas dimensões e isentos de defeitos. Portanto, para a classificação tecnológica, adotou-se a relação do comprimento do vão entre apoios e altura do corpo de prova (L/h), que foi de $L=Xh$, definida com base nas normas europeia EN 408:1995 e americana ASTM D143 – 09 e baseada na pesquisa de Parra Serrano (2009), também citada por Aprilanti (2010).

a) Preparo das amostras

Para o ensaio, utilizou-se 6 tábuas aleatórias de cada espécie, as quais foram aplainadas, serradas e desengrossadas nas dimensões de vigas comerciais especificadas à seguir (Figura 14 (a),(b), (c) e (d)).



Figura 14 - Processamento das tábuas. Desempenadeira (a); serra circular (b) e desgrossadeira (c e d)

Dimensões das peças (vigas):

Leucena: 10,0 cm de largura (b) x 5,0 cm de espessura (h) x 2m de comprimento;

Maculata e Torelliodora : 10, 0 cm de largura (b) x 5,0 cm de espessura (h) x 3m de comprimento;

Essas amostras representam peças na condição real de uso.

b) Ensaio das peças em máquina universal de ensaio para a obtenção do módulo de elasticidade (E_{M0}) em flexão.

Para a obtenção do módulo de elasticidade (E_{M0}) em flexão não destrutivo dessas vigas em máquina universal de ensaio, foi necessário estimar o valor do módulo de resistência à ruptura ($f_{M,est}$), pelo ensaio destrutivo de flexão de cada espécie, a fim de calcular o valor da carga máxima para não danificar as peças.

Foram então, retirados das mesmas amostras a serem investigadas, três corpos de prova de cada espécie, nas dimensões de 2 cm x 2cm x 50cm e realizado o ensaio destrutivo de flexão em máquina universal de ensaio (Figura 15).



Figura 15 - Ensaio de flexão

Após a obtenção da média do valor da resistência à ruptura representativa para cada espécie, estimou-se a carga ($P_{M\acute{a}x}$) para a obtenção do E_{M0} não destrutivo das vigas através da eq. (10) da norma americana ASTM D -198:

$$f_M = \frac{3P_{m\acute{a}x} \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2} \quad (10)$$

f_m = módulo de ruptura, Kg/cm²;

$P_{M\acute{a}x}$ = carga máxima, kg;

L = vão, cm;

b = base do corpo de prova, cm;

h = altura do corpo de prova, cm.

Através do valor do $P_{m\acute{a}x}$ calculado, estimou-se um valor de 50% dessa carga para a obtenção do E_{M0} , ou seja, dentro do comportamento na fase elástico-linear para não danificar as vigas.

Os ensaios de flexão não destrutivos para a obtenção do E_{M0} foram realizados em uma máquina universal de ensaios equipada com um sistema informatizado de aquisição de dados de carga e de deslocamentos conforme ilustra a Figura 16 (a) e (b).

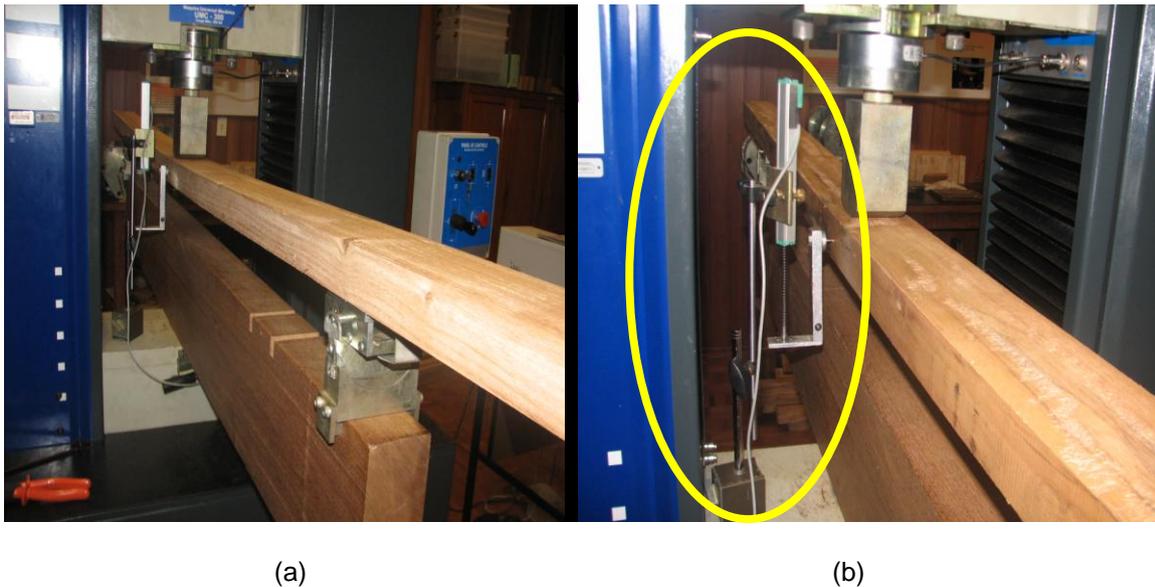


Figura 16 - Ensaio de flexão (a), LVDT (Linear Voltage Differential Transformer) instalado no meio do vão para leitura de deslocamentos da viga na máquina universal de ensaios (b)

Foi aplicado um carregamento concentrado no meio do vão conduzido na velocidade de 10 MPa/min, segundo recomendação da norma NBR 7190/97.

c) Ensaio das peças pelo método de ensaio de obra para a obtenção do módulo de elasticidade (E_{M0}) em flexão

As mesmas vigas, após ensaio não destrutivo do módulo de elasticidade em flexão na máquina universal de ensaio, foram ensaiadas pelo método de ensaio de obra não destrutivo, um método artesanal que consiste em duas leituras no ponto médio do vão; a primeira sem carga na peça, e a segunda com carga. Nesse caso, as vigas foram apoiadas em tijolos, fixou-se um vão (L) e mediu-se com trena no centro da viga a distância entre o chão e a base inferior da viga sem carga (P) (Figura 17). Em seguida uma pessoa sabendo seu peso previamente ($P = 98,4$ Kg), subiu no centro da viga, medindo-se novamente a distância entre o chão e a base inferior da viga (Figura 18). Essa diferença na distância da viga até o chão ocasionada pelo peso representa o valor da flecha (f) eq. (11):

$$f = \text{cotasp} - \text{cotacp} \quad (11)$$

f = flecha na flexão, mm;

cotasp = distância do chão até a base inferior da viga sem carga(p), mm;

cotacp = distância do chão até a base inferior da viga com carga(p), mm.

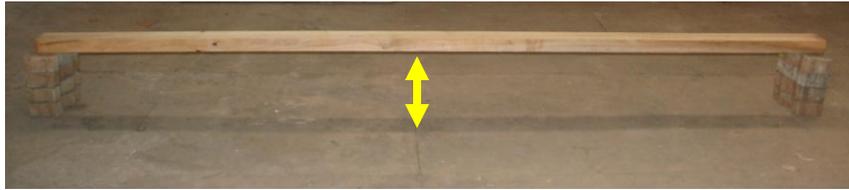


Figura 17 - Distância do chão até a viga sem carga, mm



Figura 18 - Distância do chão até a viga com carga, mm

Esse ensaio permite calcular o E_{M0} da viga no trecho elástico pela eq. (12) descrita por Aprilanti (2010), através da flecha na flexão no momento de inércia.

$$E = \frac{P \cdot L^3}{48fI} \quad (12)$$

E = módulo de elasticidade, MPa;

P = carga, N;

L = vão, mm;

f = flecha na flexão, mm;

$$I = \frac{bh^3}{12}$$

I = momento de inércia na seção transversal, mm^4 ;

b = base da seção transversal, mm;

h = altura da seção transversal, mm.

3.2.5 Avaliação do módulo de resistência à ruptura (f_M) em flexão através do ensaio de obra de peças na condição real de uso

Para o cálculo do módulo de resistência à ruptura (f_M) em flexão foram retirados das mesmas vigas anteriormente ensaiadas, sarrafos com dimensões de

5,0cm de largura(b) x 2,0 cm de espessura (h), mantendo o mesmo comprimento, seguindo padrões de dimensões comerciais, porém, em seções menores, a fim de facilitar a ruptura. Nesse caso os sarrafos foram apoiados em duas cadeiras para servir de suporte e o vão foi determinante para a obtenção do f_M (Figura 19). Conhecendo-se inicialmente o valor da carga ($P_{m\acute{a}x}$), sendo que nesse estudo foi o peso de uma pessoa com 90,5 Kg aplicados no centro do sarrafo (Figura 20); e o vão (L) iniciado em 100 cm foi aumentado de um em um cm de cada lado até o momento de ruptura (Figura 21).



Figura 19 - Sarrafos apoiados em cadeiras para o ensaio de flexão



Figura 20 - Aplicação da carga para o ensaio de flexão



Figura 21 - Ensaio de flexão para a obtenção do módulo de ruptura

O f_M da flexão foi calculado pela eq. (10) da Norma ASTM D-198 com o valor do vão (L) responsável pela ruptura.

3.2.6 Avaliação das propriedades físicas e mecânicas segundo recomendações da Norma Brasileira NBR 7190/97 relevantes à engenharia

- a) Flexão estática (f_M) e (E_{M0});
- b) Cisalhamento paralelo às fibras (f_{V0});
- c) Densidade aparente (ρ_{ap});
- d) Compressão paralela às fibras (f_{C0}) e (E_{C0}).

Para avaliar tais propriedades mecânicas, os corpos de prova e os ensaios foram conduzidos baseados nas recomendações da norma brasileira NBR 7190/97.

Após os ensaios em peças na sua condição real de uso, foram retirados dessas mesmas vigas, corpos de prova para ensaios de flexão estática (f_M e E_{M0}), resistência ao cisalhamento paralelo (f_{V0}) densidade aparente e compressão paralela às fibras (f_{C0} e E_{C0}), totalizando 6 corpos de prova para cada ensaio referente à cada espécie, seguindo recomendações da norma.

Preparação dos corpos de prova

As amostras foram extraídas ao longo do lote de vigas, sendo para cada viga, um corpo de prova para flexão, um corpo de prova para cisalhamento paralelo e outro corpo de prova para compressão paralela. Os corpos de prova foram tirados de regiões afastadas das extremidades no mínimo 5 vezes a menor dimensão da seção transversal da peça considerada, mas nunca menor que 30 cm conforme recomenda a norma brasileira NBR 7190/97 (Figura 22). Os corpos de prova ficaram armazenados em sala com umidade controlada (12% de umidade) por uma semana.

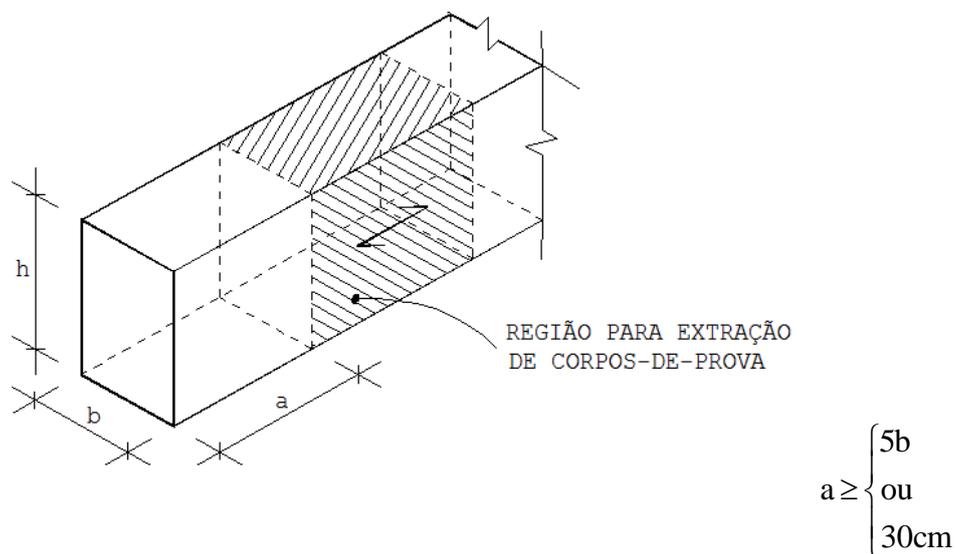


Figura 22 - Esquema para extração de corpos-de-prova das peças

Fonte: Norma NBR 7190/97

3.2.6.1 Resistência à Flexão: módulo de ruptura (f_M) e módulo de elasticidade (E_{M0}) segundo Norma Brasileira NBR 7190/97

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 simples, calculado com a hipótese da madeira ser um material elástico, sendo dado pela eq. (13):

$$f_M = \frac{M_{\max}}{W_e} \quad (13)$$

M_{\max} é o máximo momento aplicado ao corpo-de-prova, Nm , eq. (14);

$$M_{\max} = \frac{P.l}{4} \quad (14)$$

P=máxima carga aplicada ao corpo-de-prova, N;

l= vão da viga, m.

W_e = módulo de resistência elástico da seção transversal do corpo de prova, dado por $bh^2/6$, m^3 .

A elasticidade da madeira à flexão foi caracterizada pelo módulo de elasticidade (E_{M0}) determinado no trecho linear do diagrama carga deslocamento, indicado na Figura 23.

Para esta finalidade o módulo de elasticidade foi determinado pela inclinação da reta secante à curva carga deslocamento no meio do vão, definida 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 de um corpo de prova gêmeo, sendo dado pela eq. (15):

$$E_{M0} = \frac{(F_{M,50\%} - F_{M,10\%})L^3}{(v_{50\%} - v_{10\%})4bh^3} \quad (15)$$

E_{M0} = módulo de elasticidade, MPa;

$F_{M, 10\%}$ e $F_{M,50\%}$ = cargas correspondentes a 10% e 50% da carga máxima estimada, aplicada ao corpo de prova, em Newton (N), representadas pelos pontos 71 e 85 do diagrama de carregamento mostrado na Figura (24);

$V_{10\%}$ e $V_{50\%}$ = deslocamentos no meio do vão correspondentes a 10% e 50% da carga máxima estimada $F_{M, est}$, (mm);

b e h = correspondem respectivamente à largura e à altura da seção transversal do corpo de prova, (mm);

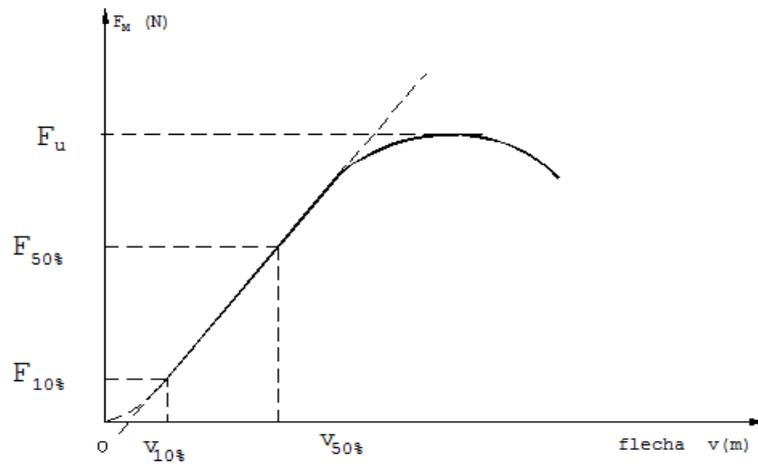


Figura 23 - Diagrama carga flecha na flexão

Fonte: Norma NBR 7190/97

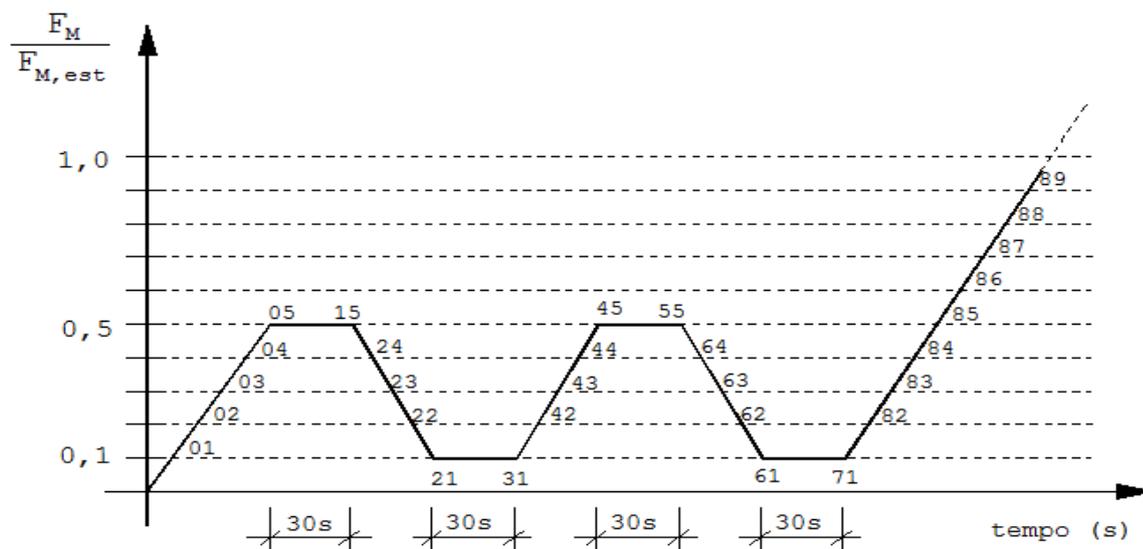


Figura 24 - Diagrama de carregamento para determinação da rigidez à flexão

Fonte: Norma NBR 7190/97

Os corpos de prova tiveram forma prismática, com seção transversal quadrada de 5,0 cm de lado e comprimento, na direção paralela às fibras, de 115 cm, como mostrado na Figura (25).

O corpo de prova foi fabricado com o plano de flexão perpendicular à direção radial da madeira, não se admitindo inclinações de fibras maiores que 6° em relação ao comprimento do corpo de prova.

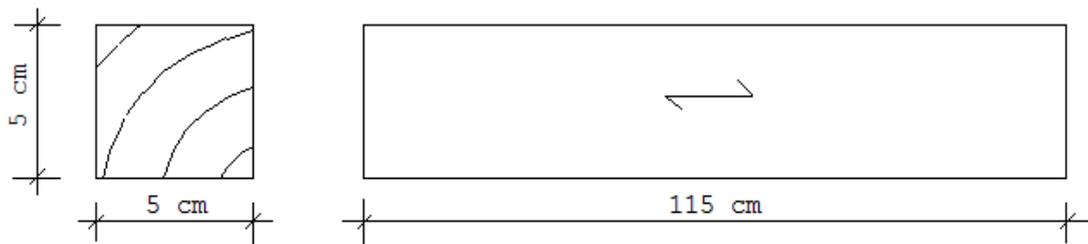


Figura 25 - Corpo de prova para ensaio de flexão

Fonte: Norma NBR 7190/97

Procedimentos

-Para a determinação da resistência convencional à flexão, as medidas dos lados do corpo de prova foram feitas com precisão de 0,1 mm;

-No ensaio, o corpo de prova foi vinculado a dois apoios articulados móveis, com vão livre entre apoios de 21 vezes a altura (h), sendo o equilíbrio do sistema garantido pelo atrito com o atuador;

-O carregamento consistiu numa carga concentrada aplicada por meio de um cutelo acoplado ao atuador, como indicado na Figura 26;

-No ensaio para determinação da resistência à flexão o carregamento foi monotônico crescente com uma taxa de 10 MPa por minuto;

-Para a determinação da rigidez, a resistência foi estimada ($f_{M,est}$) pelo ensaio destrutivo de um corpo de prova gêmeo, selecionado da mesma amostra a ser investigada.

-Conhecida a resistência estimada da amostra $f_{M,est}$, o carregamento foi aplicado com dois ciclos de carga e descarga, de acordo com o procedimento especificado no diagrama de carregamento da Figura 24. A taxa de carregamento foi de 10 MPa por minuto;

-A medida dos deslocamentos transversais no meio do foram feitas para cada ponto do diagrama de carregamento especificado na Figura 24; com transdutores de deslocamentos com precisão de 0,01 mm;

-Os deslocamentos foram registrados para cada ponto do diagrama de carregamento (Figura 24), até 70% da carga estimada. Em seguida elevou o carregamento até a ruptura do corpo de prova (Figura 27 (a) e (b)).

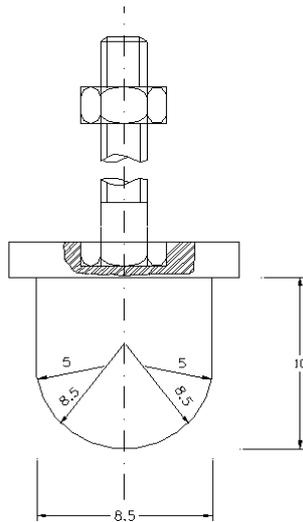
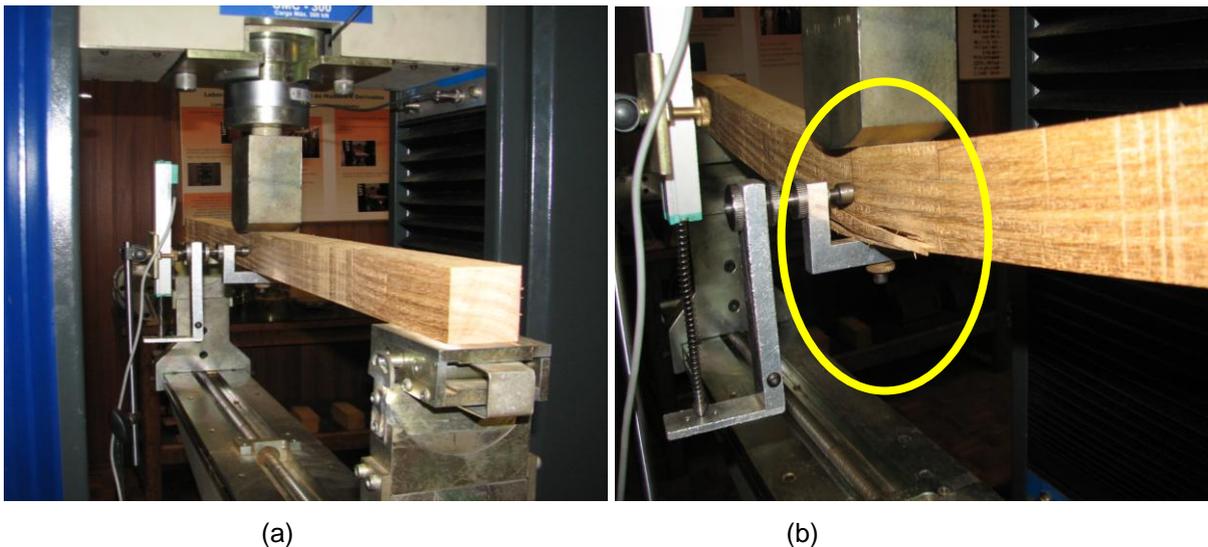


Figura 26 - Cutelo de aplicação de carga para o ensaio de flexão

Fonte: Norma NBR 7190/97



(a)

(b)

Figura 27 - Corpo de prova em ensaio de flexão (a); ruptura (b)

3.2.6.2 Resistência ao cisalhamento paralelo às fibras segundo Norma Brasileira NBR 7190/97

A resistência ao cisalhamento paralelo às fibras da madeira ($f_{wv,0}$ ou f_{v0}) é dada pela máxima tensão de cisalhamento que pode atuar na seção crítica de um corpo de prova prismático, sendo dada pela eq. (16):

$$f_{v0} = \frac{F_{v0,max}}{A_{v0}} \quad (16)$$

f_{V0} = resistência ao cisalhamento paralelo, MPa;

$F_{V0,max}$ = máxima força cisalhante aplicada ao corpo-de-prova, N;

A_{V0} = área inicial da seção crítica do corpo de prova, num plano paralelo às fibras, mm^2 .

O corpo de prova para o ensaio de cisalhamento teve a forma indicada na Figura 28.

O corpo de prova foi fabricado com o plano da seção crítica paralelo à direção radial da madeira (normal ao eixo 3), ver Figura 28.

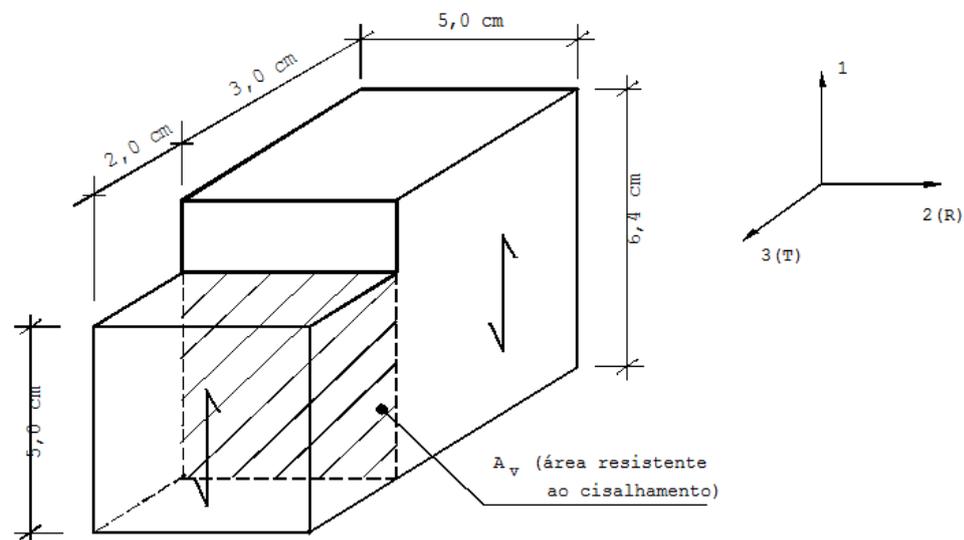


Figura 28 - Corpo de prova para ensaio de cisalhamento na direção paralela às fibras
Fonte: Norma NBR 7190/97

Procedimentos

-Para a determinação da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras as medidas dos lados dos corpos de prova foram feitas com precisão de 0,1 mm;

-Para o ajuste do corpo de prova na máquina de ensaio utilizou-se uma rótula entre o atuador e o corpo de prova;

-O carregamento foi monotônico crescente correspondente a uma taxa de 2,5 MPa por minuto até a ruptura (Figura 30 (a) e (b));

-O arranjo de ensaio para a determinação da resistência ao cisalhamento paralelo está indicado nas Figuras 29.

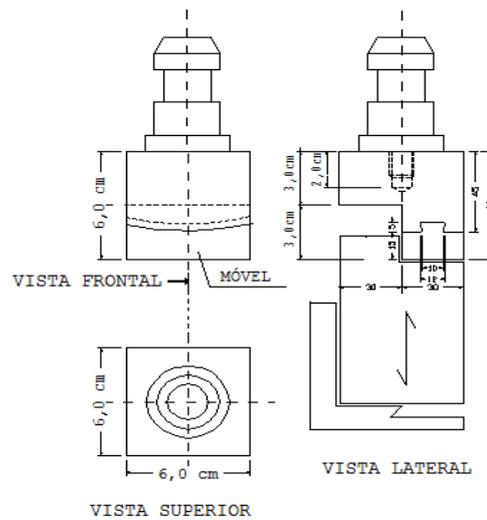
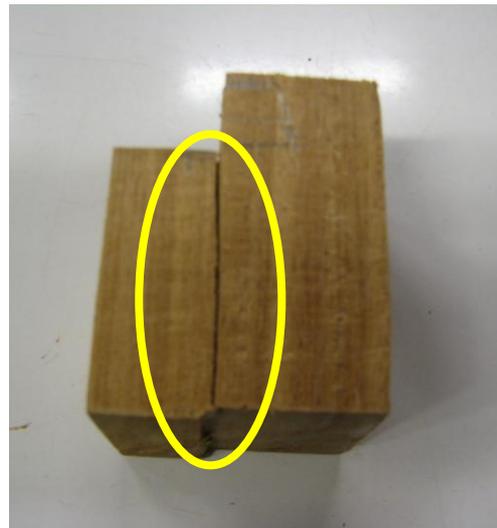


Figura 29 - Arranjo de ensaio para cisalhamento paralelo às fibras
Fonte: Norma NBR 7190/97



(a)



(b)

Figura 30 - Corpo de prova no ensaio de cisalhamento paralelo às fibras (a); cisalhamento (b)

3.2.6.3 Densidade aparente adaptada da Norma Brasileira NBR 7190/97

Para evitar perdas de material e excesso de processamento, aproveitaram-se os corpos de prova para ensaios de compressão paralela para calcular a densidade aparente das espécies. Os corpos de prova tiveram forma prismática com seção

transversal quadrada de 5,0 cm de lado e comprimento de 15 cm, como representado na Figura 31.

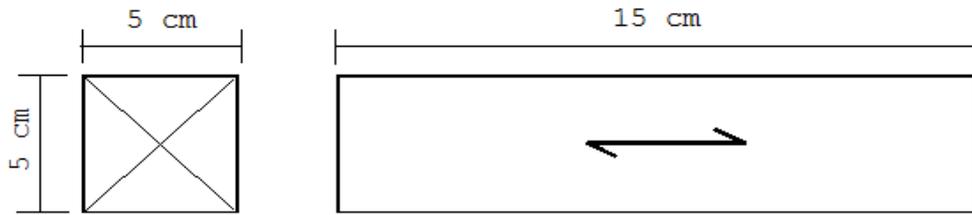


Figura 31 - Corpo-de-prova para ensaio de compressão paralela às fibras
Fonte: Norma NBR 7190/97

A densidade aparente (ρ_{ap}), foi definida pela razão entre a massa e o volume de corpos de prova, medidos em balança com precisão de 0,01g e paquímetro, ambos com teor de umidade de 12% (Norma NBR 7190/97), eq. (17):

$$\rho_{ap} = \frac{m_{12}}{V_{12}} \quad (17)$$

ρ_{ap} = densidade aparente, kg/m³;

m_{12} = massa da madeira a 12% de umidade, kg;

V_{12} = volume da madeira a 12% de umidade, m³.

Após a determinação da densidade aparente, deu-se início aos ensaios de compressão paralela.

3.2.6.4 Resistência à compressão paralela às fibras segundo Norma Brasileira NBR 7190/97

A resistência à compressão paralela às fibras ($f_{wc,0}$ ou f_{c0}) é dada pela máxima tensão de compressão que pode atuar em um corpo de prova com seção transversal quadrada de 5,0 cm de lado e 15,0 cm de comprimento, sendo dada pela eq. (18):

$$f_{c0} = \frac{F_{c0,max}}{A} \quad (18)$$

f_{c0} é a resistência à compressão paralela às fibras, MPa .

$F_{c0,max}$ = máxima força de compressão aplicada ao corpo de prova durante o ensaio,
N;

A = área inicial da seção transversal comprimida, mm^2 ;

A elasticidade da madeira na direção paralela às fibras foi determinada por seu módulo de elasticidade, obtido do trecho linear do diagrama tensão deformação específica, como indicado na Figura 32, sendo expresso em MPa.

Para esta finalidade, o módulo de elasticidade foi determinado pela inclinação da reta secante à curva tensão deformação, definida pelos pontos $(\sigma_{10\%}; \varepsilon_{10\%})$ e $(\sigma_{50\%}; \varepsilon_{50\%})$, correspondentes respectivamente a 10% e 50% da resistência a compressão paralela as fibras medida no ensaio, sendo dado pela eq. (19):

$$E_{c0} = \frac{\sigma_{50\%} - \sigma_{10\%}}{\varepsilon_{50\%} - \varepsilon_{10\%}} \quad (19)$$

E_{c0} = resistência à compressão paralela, MPa;

$\sigma_{10\%}$ e $\sigma_{50\%}$ = tensões de compressão correspondentes a 10% e 50% da resistência f_{c0} , representadas pelos pontos 71 e 85 do diagrama de carregamento, ver Figura 35;

$\varepsilon_{10\%}$ e $\varepsilon_{50\%}$ = deformações específicas medidas no corpo de prova, correspondentes às tensões de $\sigma_{10\%}$ e $\sigma_{50\%}$.

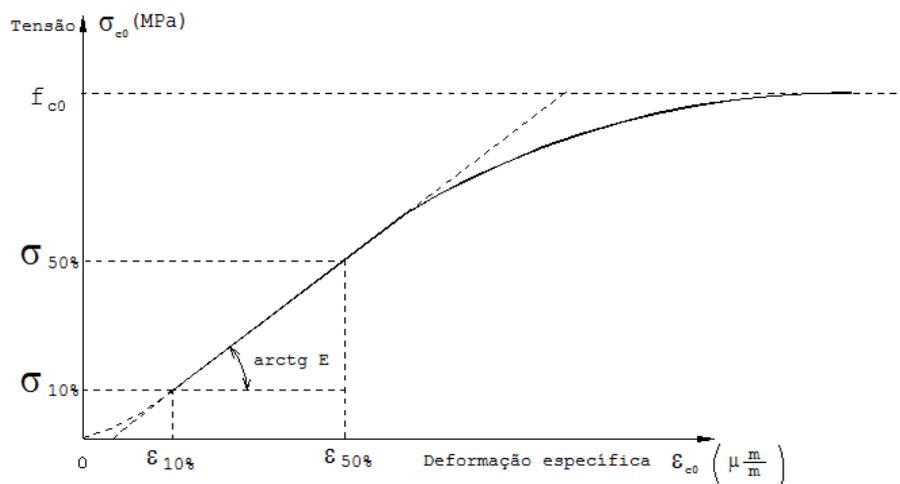


Figura 32- Diagrama tensão deformação específica

Fonte: Norma NBR 7190/97

Os corpos de prova tiveram forma prismática com seção transversal quadrada de 5,0 cm de lado e comprimento de 15 cm, como representado na Figura 33.

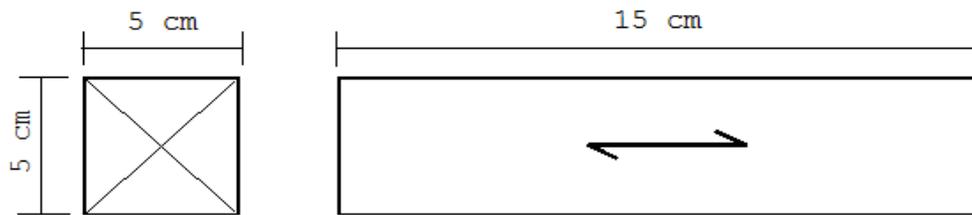


Figura 33 - Corpo-de-prova para ensaio de compressão paralela às fibras

Fonte: Norma NBR 7190/97

Procedimentos

-Para a determinação das propriedades de resistência e de rigidez, as medidas dos lados do corpo de prova foram feitas com precisão de 0,1 mm;

-Para determinação do módulo de elasticidade foram utilizados relógios comparadores, com precisão de 0,001mm, fixados por meio de duas cantoneiras metálicas pregadas no corpo de prova, com distância nominal de 10 cm entre as duas linhas de pregação, ver Figura 34;

-As medidas das deformações específicas foram feitas com extensômetros com precisão mínima de 50 $\mu\text{m}/\text{m}$ (micrometro por metro);

-Para o ajuste do corpo de prova na máquina de ensaio utilizou-se uma rótula entre o atuador e o corpo de prova

-A resistência foi determinada com carregamento monotônico crescente com uma taxa em torno de 10MPa;

-Para determinação da elasticidade, a resistência da madeira foi estimada ($f_{c0,est}$) pelo ensaio destrutivo de um corpo de prova selecionado da mesma amostra a ser investigada;

-Conhecida a resistência estimada da amostra $f_{c0,est}$, o carregamento foi aplicado com dois ciclos de carga e descarga, de acordo com o procedimento especificado no diagrama de carregamento

-Os registros das cargas e das deformações foram feitos para cada ponto do diagrama de carregamento mostrado na Figura 35;

-As deformações foram registradas para cada ponto do diagrama de carregamento mostrado na Figura X, até 70% da carga estimada. Em seguida, elevou carregamento até a ruptura do corpo de prova (Figura 36 (a e b));

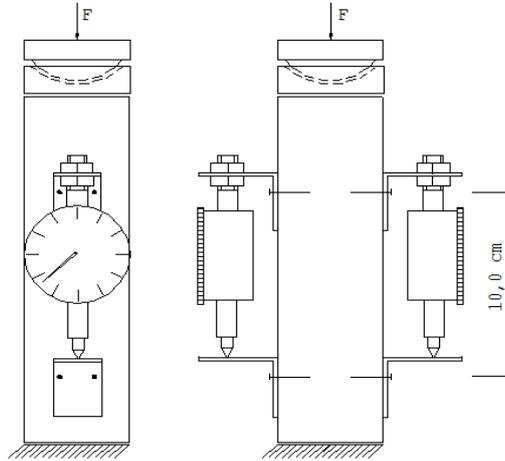


Figura 34 - Arranjo de ensaio para compressão paralela às fibras, com instrumentação baseada em relógios comparadores

Fonte: Norma NBR 7190/97

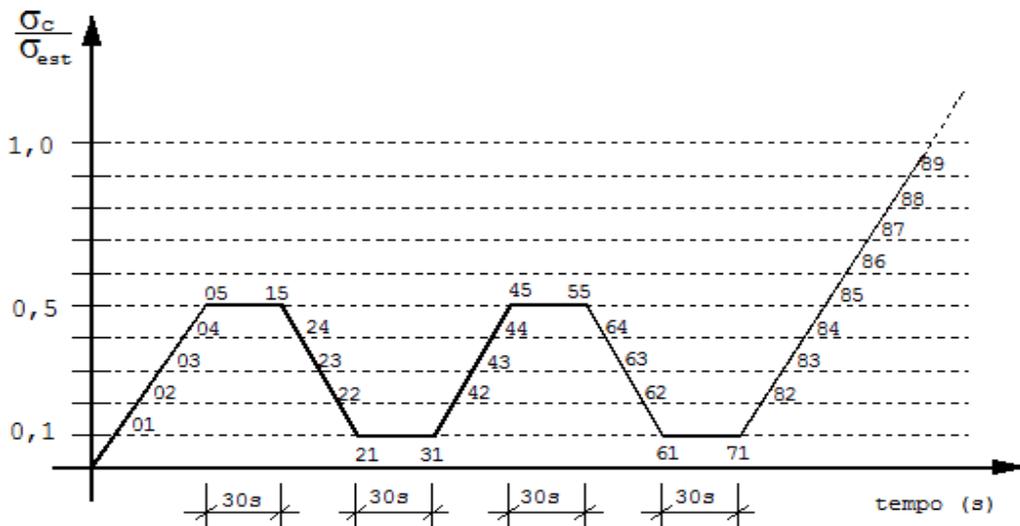


Figura 35 - Diagrama de carregamento para determinação da rigidez da madeira à compressão

Fonte: Norma NBR 7190/97

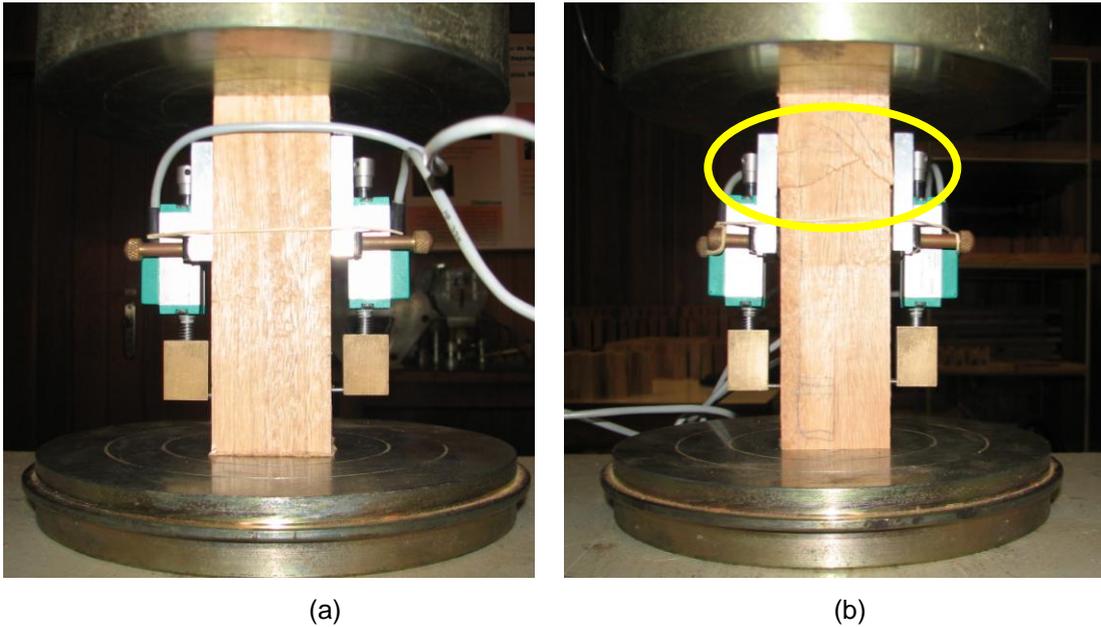


Figura 36 - Corpo de prova no ensaio de compressão paralela às fibras (a); compressão (b)

3.2.7 Correlações entre módulo de elasticidade (E_{M0}) e módulo de ruptura (f_M) e entre resistência à compressão (f_{c0}) com outras propriedades; avaliação das equações recomendada pela literatura para estimar o módulo de ruptura (f_M)

Instituiu-se correlações lineares adotando o modelo $Y = AX + B$ entre as variáveis E_{M0} e f_M e entre f_{c0} e as propriedades (módulo de ruptura (f_M), módulo de elasticidade na flexão (E_{M0}), módulo de elasticidade na compressão (E_{c0}), resistência ao cisalhamento (f_{v0}) e densidade aparente). Os valores utilizados foram os obtidos dos ensaios recomendados pela norma brasileira NBR 7190/97 a fim de encontrar uma otimização nos ensaios. Os valores determinados segundo recomendações da norma tendem apresentar menor variação nos resultados por serem corpos de prova isentos de defeitos na madeira.

Avaliou-se as equações (20) e (21) de Furiati (1981) para estimar o Módulo de ruptura (f_M), através do Módulo de elasticidade (E_{M0}) e da densidade aparente, a fim de minimizar ensaios destrutíveis:

$$\sigma f = 0,008E + 54,27 \quad (20)$$

$$\sigma f = 0,008E + 552,14D \quad (21)$$

σf = tensão de ruptura;

E= módulo de elasticidade em flexão, Kg/cm²;

D= densidade aparente, g/cm³

Segundo Furiati (1981) a equação (21) apresenta coeficiente de correlação $R^2 = 0,8516$ e a equação (22) apresenta o melhor coeficiente de correlação $R^2 = 0,8706$, ambas utilizam propriedades de fácil obtenção.

3.2.8 Delineamento experimental e análises estatísticas

O experimento foi instalado de acordo com o esquema fatorial de tratamentos em um delineamento inteiramente casualizado, com 6 repetições por tratamento. Os dados foram obtidos através da análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. As análises foram realizadas usando o software SAS.

As análises estatísticas ocorreram para duas situações:

1ª Situação: Comparação dos métodos utilizados para a obtenção do módulo de elasticidade (E_{M0}) nas três espécies, a fim de avaliar os métodos.

O arranjo estatístico utilizado nesta análise foi fatorial 3 x 3 sendo três espécies (Leucena, Maculata e Torelliodora) e três tipos de métodos de ensaios (máquina universal de ensaio em peças na condição real de uso, ensaio de obra em peças na condição real de uso e ensaio em corpos de prova segundo recomendações da norma brasileira NBR 7190/97) conforme Tabela 6:

Tabela 6- Análise de variância para estudo entre métodos

Causa de variação	Graus de liberdade
Espécies	2
Métodos de ensaios	2
Espécie * Métodos	4
(Tratamentos)	(8)
Resíduo	45
Total	53

2ª Situação: Comparação dos métodos utilizados para a obtenção do módulo de ruptura (f_M) nas três espécies, a fim de avaliar os métodos. O arranjo estatístico utilizado nesta análise foi fatorial 3 x 2, sendo três espécies (Leucena , Maculata e Toreliodora) e dois tipos de métodos de ensaios (ensaio de obra em peças na condição real de uso e ensaio em corpos de prova segundo recomendações da norma brasileira NBR 7190/97) conforme Tabela 7:

Tabela 7- Análise de variância para estudo entre métodos

Causa de variação	Graus de liberdade
Espécies	2
Métodos de ensaios	1
Espécie * Métodos (Tratamentos)	2 (5)
Resíduo	30
Total	35

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este item apresenta inicialmente, os resultados obtidos das avaliações tecnológicas das toras. As características dendrométricas como diâmetros e rachaduras são características que qualificam o potencial da madeira e as necessidades de melhoramentos. Na sequência estão apresentados os resultados das qualificações estruturais das espécies *Leucena*, *Maculata* e *Torelliodora* obtidos através dos ensaios em máquina universal de ensaio e de obra, em peças na condição real de uso; e em corpos de prova segundo recomendações da norma brasileira NBR 7190/97, a fim de avaliar os métodos e referenciar as espécies com madeiras consagradas no mercado. Foram feitas correlações entre o módulo de ruptura e módulo de elasticidade em flexão, entre a resistência à compressão e outras propriedades, a fim de otimizar a quantidade de ensaios. Dentro desta perspectiva, avaliaram-se as equações de literatura para minimizar ensaios destrutíveis. As discussões foram elaboradas de forma a comparar os métodos, questionar a norma e oferecer uma metodologia simplificada para a introdução de novas madeiras no mercado.

4.1 Avaliação dos diâmetros das toras

Do ponto de vista industrial, o diâmetro das toras é o principal fator que influencia o rendimento da madeira serrada, no entanto, também interessa saber a viabilidade econômica das toras visando a qualidade da madeira. Possivelmente, técnicas silviculturais com rotações mais longas, permitam a produção de toras de melhor qualidade, apropriadas a múltiplos usos.

A Tabela 8 apresenta os diâmetros médios, mínimos e máximos das espécies estudadas:

Tabela 8 - Dados dendrométricos das três espécies estudadas

Espécies	Diâmetro médio (cm)	Diâmetro mínimo (cm)	Diâmetro máximo (cm)
<i>Leucena</i>	33,21	27,75	37,88
<i>Maculata</i>	44,3	38,6	50,5
<i>Torelliodora</i>	35,23	30	40

Essa tabela mostra que os diâmetros das toras do *Maculata* foram um pouco maiores que as das demais. Todas as espécies apresentaram um bom tamanho referente às idades. Observa-se que a *Leucena* apresenta diâmetros semelhantes aos do *Torelliodora*, apesar de ser 9 anos mais nova, sendo assim, apresenta uma importante característica.

4.2 Avaliação das rachaduras de extremidades

A madeira de espécie arbórea de crescimento rápido, especialmente as folhosas como o gênero *Eucalyptus*, apresentam uma maior propensão a rachar, assim como diversos tipos de empenamentos durante o desdobro. Esses defeitos são provocados pelas tensões de crescimento, que garantem a estabilidade física do tronco vivo. Garcia (1995) comenta que a seção transversal de uma árvore recém-cortada tem o seu diâmetro aumentado devido às elevadas tensões de crescimento. Esse aumento de diâmetro é quase sempre acompanhado por rachaduras de extremidades, as quais têm sido propostas como indicadores de seleção de árvores para serraria pela importância que desempenham.

As tensões de crescimento são uma das principais causas do baixo rendimento em madeira serrada, podendo causar perdas de 50% no rendimento de eucaliptos (SCANAVACA; GARCIA, 2004). No entanto, há diversos procedimentos que são realizados para reduzir ou atenuar os problemas advindos das tensões de crescimento, que vão desde o manejo até o desdobro das árvores. Equipamentos adequados e técnicas próprias para o desdobro são fatores muito importantes no bom aproveitamento das toras produzidas por espécie de rápido crescimento.

A Tabela 9 apresenta os valores médios, mínimos e máximos obtidos de rachaduras de tensão de crescimento (IR1) e de secagem (IR2) encontradas nas extremidades das toras.

Tabela 9 - Índices de Rachaduras (IR1 e IR2)

Espécies	IR1	IR1	IR1	IR2	IR2	IR2
	médio	mínimo	máximo	médio	mínimo	máximo
Leucena	8,33	5	11	7,42	4,5	11
Maculata	48,5	14	157	23,67	13	33,5
Torelliodora	12	7	17	16,42	4,5	28,5

Segundo Barchet (2001) no gênero *Eucalyptus* as toras de menores diâmetros produzem maiores quantidades de resíduos, tábuas com maiores porcentagens de defeitos, advindas das tensões de crescimento, como rachaduras de extremidade e empenamentos.

Na secagem as rachaduras superficiais podem aparecer quando as condições são muito severas, isto é, baixas umidades relativas provocando a rápida secagem das camadas superficiais até valores inferiores ao PSF, enquanto as camadas internas estão ainda com mais de 30% de umidade (GALVÃO; JANKOWSKY 1985).

Houve uma grande variabilidade entre as árvores de uma mesma espécie (Figura 37 (a), (b), (c)), porém, o Maculata apresentou maiores diâmetros e maiores índices de rachadura.

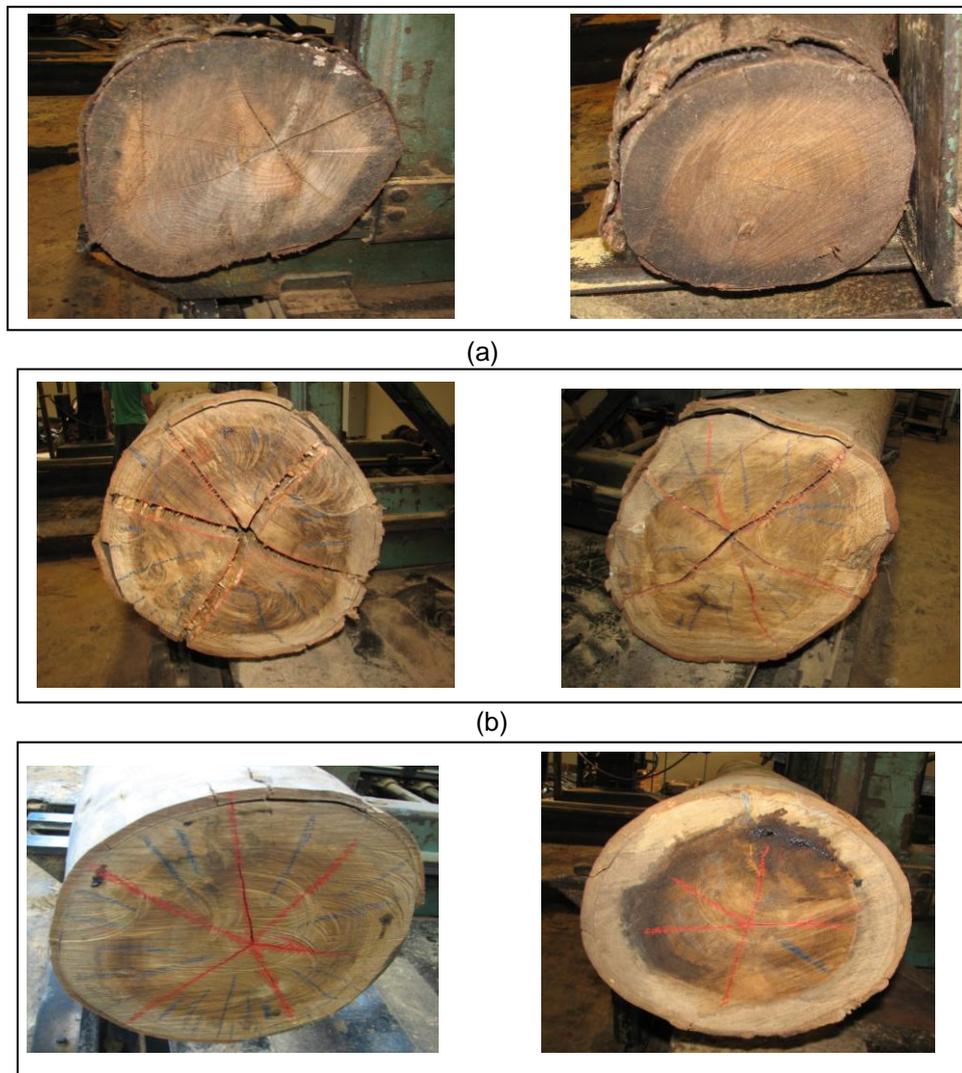


Figura 37 - Rachaduras de extremidades da Leucena (a); Maculata (b); Torelliodora (c)

A fim de se entender os resultados obtidos de rachaduras, avaliou-se a correlação entre diâmetros e rachaduras.

Os gráficos de correlação entre diâmetros e IR1, individualizado por espécies, estão representados na Figura (38):

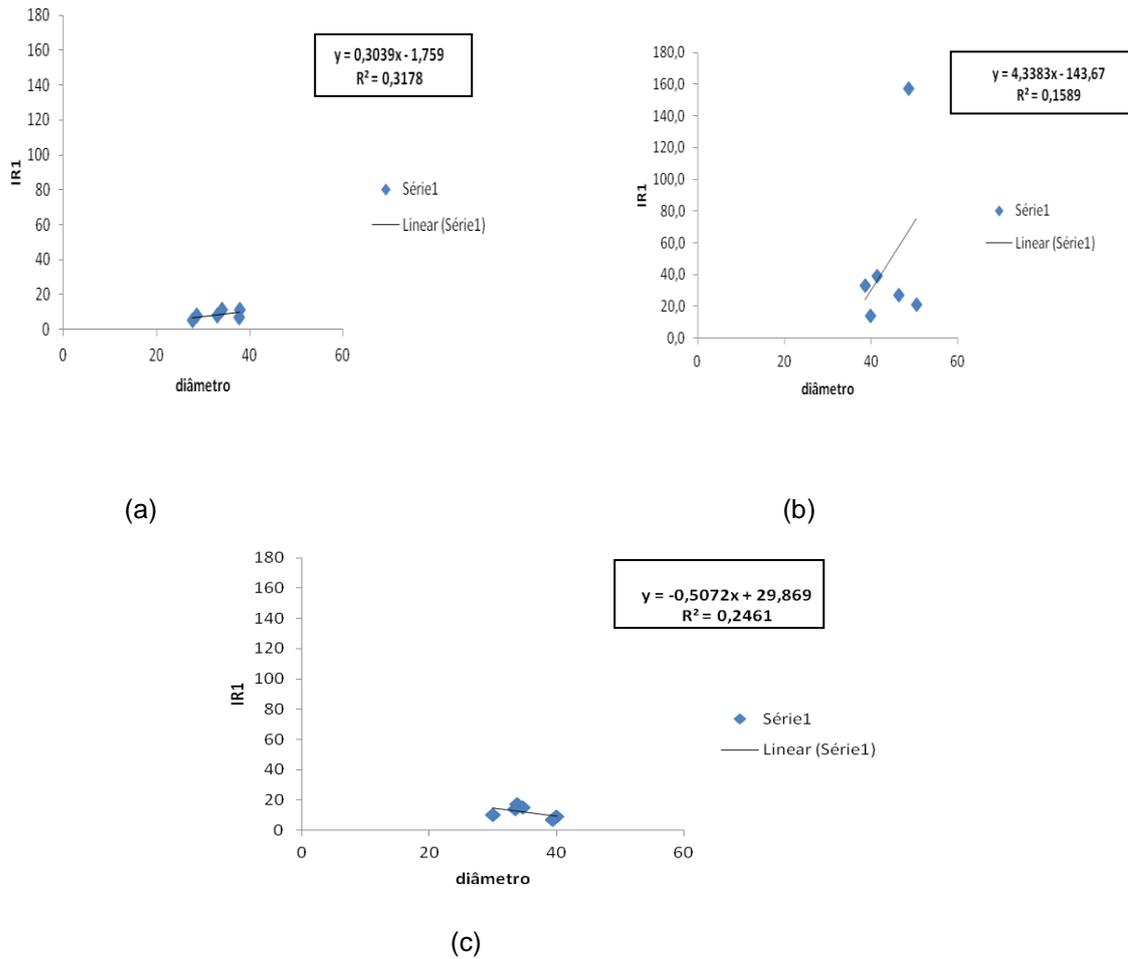


Figura 38 - Correlações entre diâmetro e IR1 para Leucena (a), Maculata (b) e Torelliodora (c)

Os gráficos de correlação entre diâmetros e IR2, individualizado por espécies, estão representados na Figura (39):

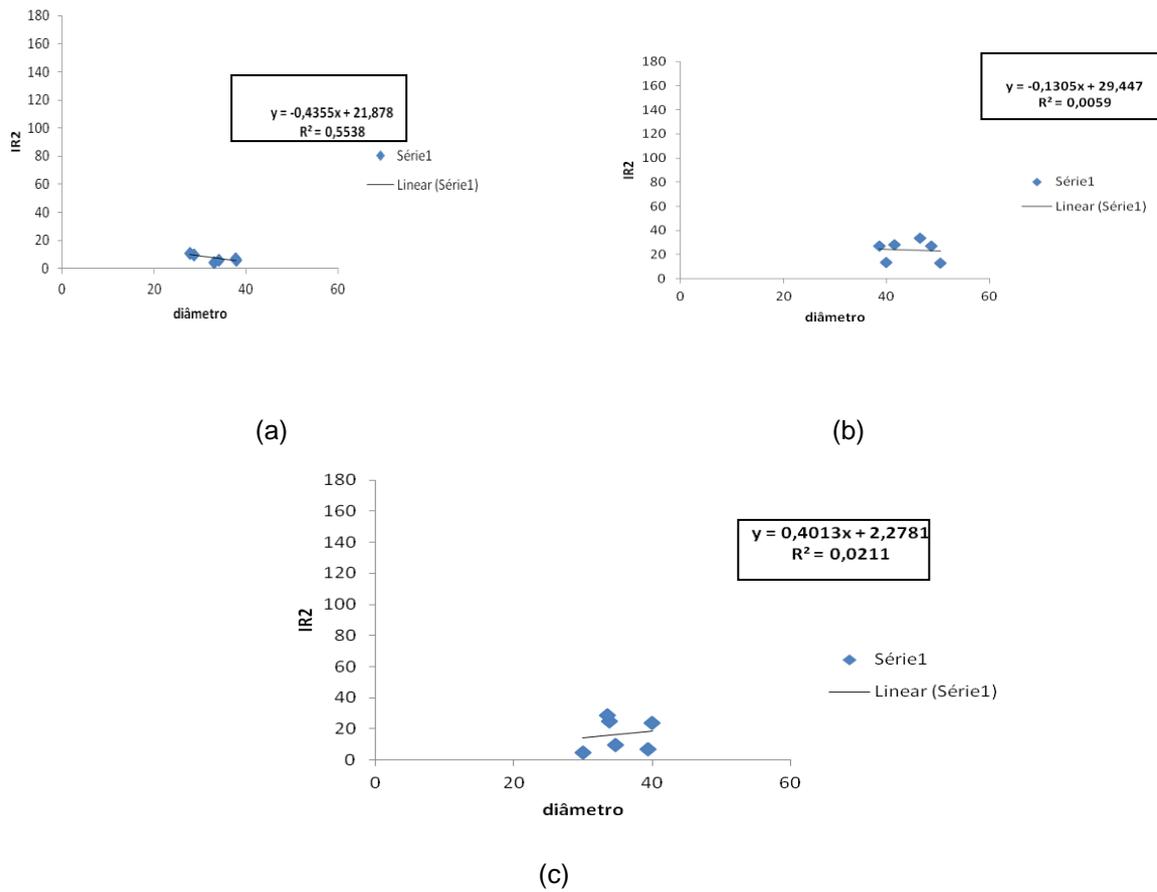


Figura 39 - Correlações entre diâmetro e IR2 para Leucena (a), Maculata (b) e Torelliodora (c)

As correlações encontradas entre tamanho do diâmetro das árvores e índices de rachaduras associados a tensão de crescimento e secagem foram muito fracas, concluindo que não houve influência do diâmetro nas rachaduras. Scanavaca e Garcia 2004 também não encontraram nenhuma correlação entre diâmetro e rachaduras em *Eucalyptus urorophylla*.

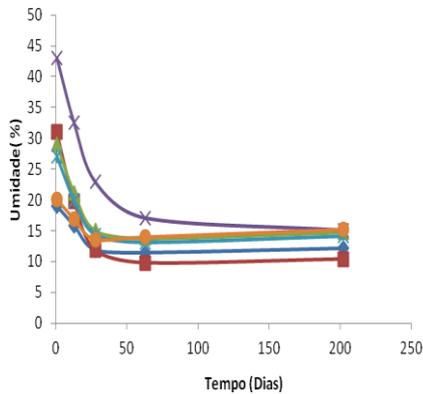
As rachaduras são caracteres altamente herdáveis e pode-se proceder a um programa de melhoramento para essa característica sem prejuízo da produtividade, inclusive, dentro de programas de melhoramento e baseados nas características dendrométricas (SCHACHT; GARCIA; VENCOVSKY, 1998).

4.3 Secagem das espécies

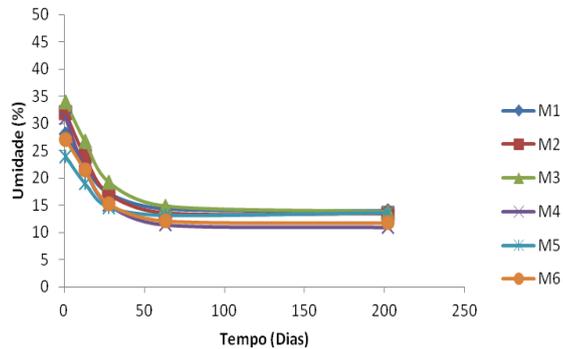
Atualmente há vários processos de secagem, desde o mais simples até os mais sofisticados em termos de equipamentos e sistemas de controle. Dentre os mais simples encontra-se a secagem ao ar livre, que consiste em empilhar a

madeira em local ventilado, preferencialmente coberto, a fim de protegê-la da incidência dos raios solares e precipitações, controlando o teor de umidade em intervalos regulares até que atinja a umidade de equilíbrio higroscópico (UEH).

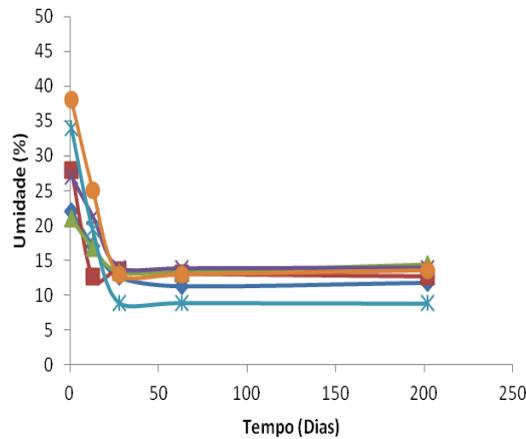
As curvas de secagem das tábuas ao ar livre (Teor de Umidade x Tempo de secagem), individualizado por espécies é apresentado na Figura 40 (a, b e c). As medições iniciaram em 23/08/2012.



(a)



(b)



(c)

Figura 40 - Curvas de secagem da Leucena (Li) (a), Maculata (Mi) (b) e Torelliodora (Ti) (c)

Observa-se que em torno de 60 dias as tábuas já apresentavam UEH.

4.4 Resultados obtidos do módulo de elasticidade (E_{M0}) em flexão de peças na condição real de uso, através do ensaio em máquina universal de ensaio

A Figura 41 apresenta as médias dos resultados obtidos nos ensaios do E_{M0} em flexão das vigas em máquina universal de ensaio

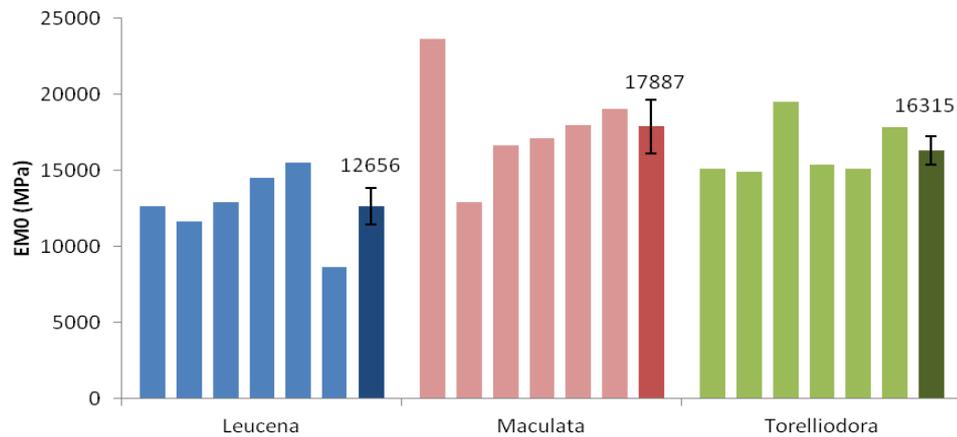


Figura 41 - Módulos de Elasticidade (E_{M0}) determinados em ensaios na máquina universal de ensaio

Esse método para a obtenção do E_{M0} das espécies estudadas apresentou uma certa dificuldade no manuseio das vigas para adaptá-las na máquina universal de ensaio. Foi necessário um ensaio destrutivo de corpos de prova para a obtenção de um valor estimado da resistência ($f_{M, est}$) a fim de calcular a carga máxima na máquina para que não passasse do limite de proporcionalidade, não destruindo a viga. Exigiu tempo para ajuste da viga na máquina, demandando uma demora nos ensaios (Figura 42):



Figura 42- Ajuste da viga na máquina universal de ensaio

Kretschmann e Hernandez (2006) mencionam que, a partir da década de sessenta, novas pesquisas forneceram dados de ensaios realizados em peças estruturais, provocando revisão da classificação das madeiras nos Estados Unidos.

4.5 Resultados obtidos do módulo de elasticidade (E_{M0}) em flexão de peças na condição real de uso, através do método de ensaio de obra

A Figura 43 apresenta as médias dos resultados obtidos do E_{M0} em flexão das vigas através do método de ensaio de obra.

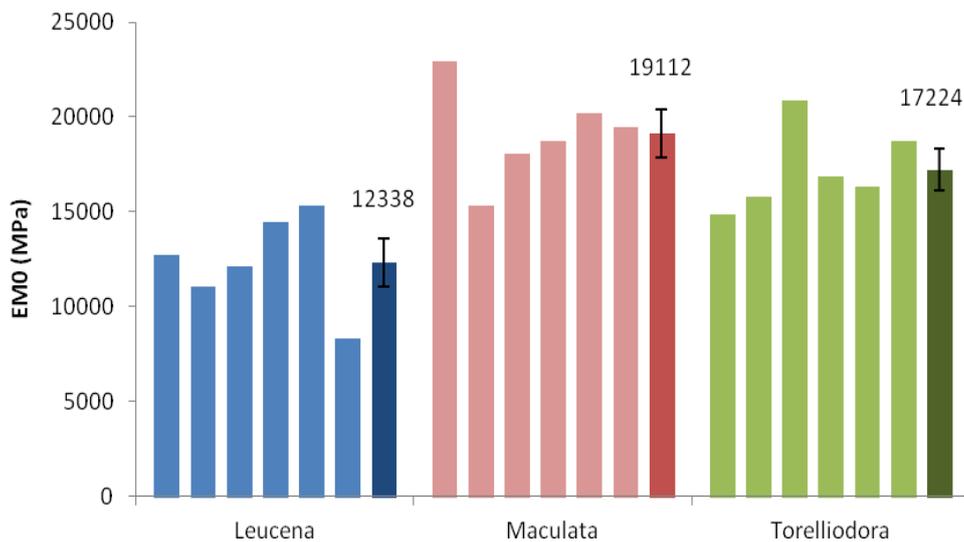


Figura 43 - Módulos de Elasticidade (E_{M0}) determinados através do Ensaio de Obra

Para a realização desse ensaio não foi necessário estimar a resistência (f_M) previamente, pois a carga utilizada não oferecia perigo de ultrapassar o limite de proporcionalidade e de danificar a viga. O ensaio foi muito simples e rápido.

4.6 Resultados obtidos do módulo de elasticidade (E_{M0}) em flexão de corpos de prova segundo recomendações da Norma brasileira NBR 7190/97

A Figura 44 apresenta as médias dos resultados obtidos do E_{M0} em flexão de corpos de prova através de ensaio recomendado pela norma brasileira NBR 7190/97.

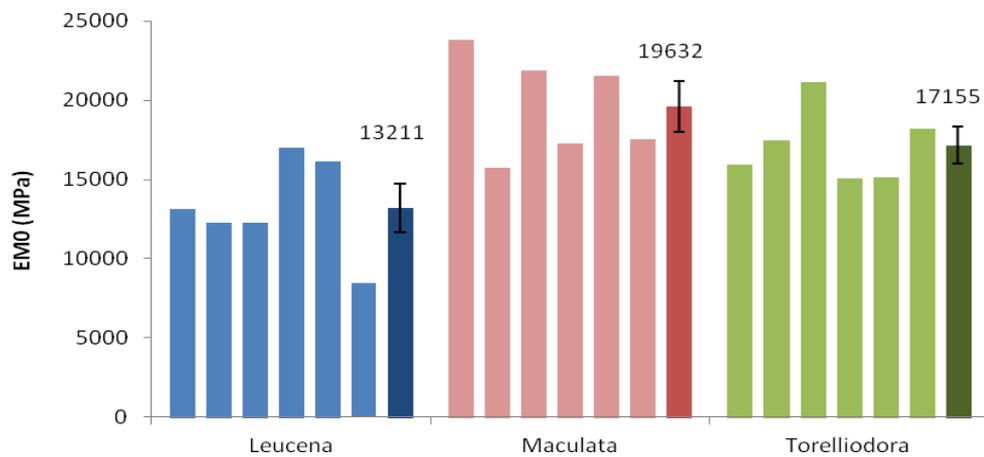


Figura 44 - Módulos de Elasticidade (E_{M0}) determinados segundo a Norma NBR 7190/97

Para a realização desse ensaio foi preciso retirar das vigas, corpos de prova isentos de defeitos, uma etapa complicada, pois as dimensões dos corpos de prova recomendados pela norma brasileira NBR 7190/97 são relativamente grandes sendo muito difícil obter um corpo de prova totalmente isento de defeitos. Para a obtenção do E_{M0} através desse ensaio também se fez necessário determinar o valor da resistência ($f_{M,est}$) pelo ensaio destrutivo. O ensaio é demorado pelo fato de se fazer o diagrama de carregamento (Figura 45).



Figura 45 – Ensaio de flexão para a obtenção do E_{M0} com corpos de prova da NBR 7190/97

4.7 Comparação entre métodos utilizados para a obtenção do módulo de elasticidade (E_{M0}) em flexão das espécies selecionadas

Foram comparados os métodos de ensaios a fim de avaliá-los (Figura 46). No quadro da análise de variância apresentado na Tabela 10 verifica-se que não houve diferença estatística entre os métodos.

Tabela 10 – Componentes de variância referentes aos métodos de ensaios para a obtenção do módulo de elasticidade (E_{M0}) das espécies Leucena, Maculata e Toreliodora

Causas de variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrado médio	Valor de F	Pr(>F)
Espécie	2	353866559	176933279,5	24,82	<0001*
Métodos	2	9942313,6	4971156,8	0,70	0,5031
E*M	4	5102162,8	1275540,7	0,18	0,9481
Resíduo	45	320732577,5	7127390,6		

Coeficiente de variação: 16,51%

*Significância ao 5% de probabilidade

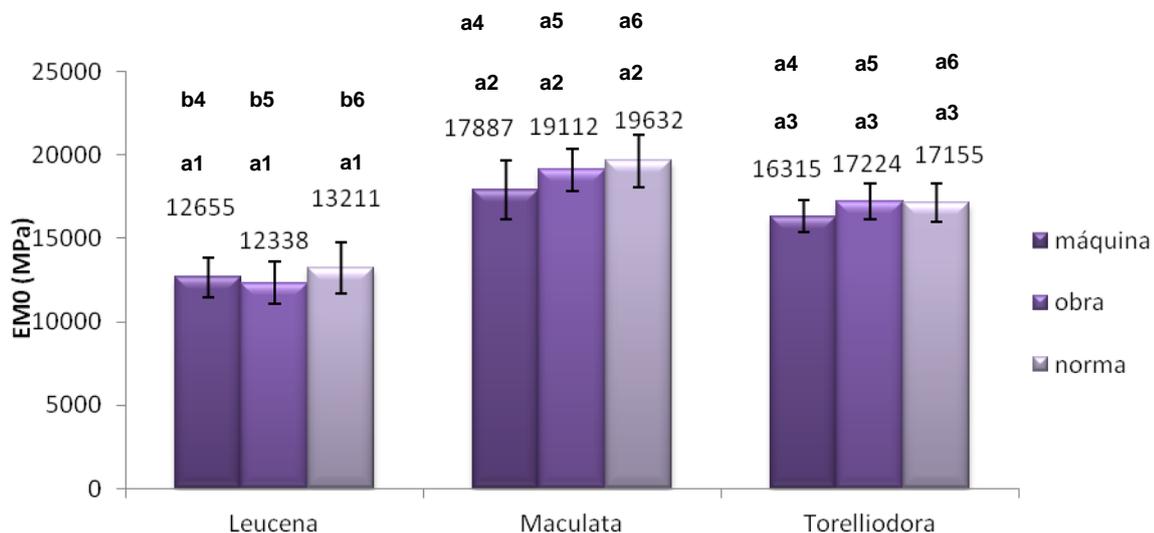


Figura 46 – Módulo de elasticidade (E_{M0}) com índices indicativos das médias em comparação sendo 1 para comparação dos métodos de ensaios utilizados dentro da Leucena, 2 para comparação dos métodos dentro do Maculata e 3 para comparação dos métodos dentro do Toreliodora. Os índices 4 são indicativos das comparações das espécies dentro método de ensaio em máquina, 5 dentro de ensaio de obra e 6 dentro do ensaio da norma.

As comparações de médias efetuadas mediante o Teste de Tukey classificou a *Leucena* com valores de módulo de elasticidade inferiores ao *Maculata* e o *Torelliodora*, porém não houve diferença significativa entre os métodos de ensaios.

As causas de não significância entre os métodos mostra uma grande vantagem sobre o método de ensaio do obra.

Segundo Klock (2000), embora o E_{M0} não ofereça informações completas e reais sobre o comportamento de um determinado material, conclui-se que valores altos de E_{M0} indicam alta resistência e baixa capacidade de deformação do material, qualificando-o para fins construtivos.

Batista et al. (2000) realizou uma pesquisa comparando valores de módulo de elasticidade obtidos em corpos de prova isentos de defeitos e em peças serradas de dimensões estruturais. De três espécies estudadas, duas (*Eucalipto* e *Cambará*) apresentaram resultados obtidos nos ensaios de corpos de prova considerados fieis aos obtidos para as peças de dimensões estruturais. Entretanto, o mesmo não pode ser afirmado para a espécie *Cupiuba*, que apresentou, para os modelos reduzidos, valores cerca de 30% inferiores aos modelos estruturais.

Miná et al. (2004) avaliaram a resistência e a rigidez de postes de madeira da espécie *Eucalyptus citriodora* comparando os resultados com os obtidos em corpos de prova isentos de defeitos. Os resultados encontrados mostraram que os valores de módulo de elasticidade são superiores para elementos estruturais nos ensaios de flexão e inferiores nos ensaios de compressão paralela; já os valores obtidos para a resistência foram superiores para as peças estruturais em ambos os ensaios.

Zangiacomo, Christoforo e Lahr (2013) que avaliaram o módulo de elasticidade de peças roliças e de corpos de prova de *Pinus elliottii*, concluíram que há diferenças significativas entre valores de módulos de elasticidade obtidos em elementos estruturais e em corpos de prova de dimensões reduzidas, tanto na compressão paralela às fibras quanto na flexão estática.

Furiati (1981) obteve fidelidade nos resultados de E_{M0} nos ensaios de obra na avaliação em vigas, concluindo que o método foi adequado podendo substituir máquinas de classificação pela tensão (Stress Grading Machine).

4.8 Resultados obtidos do módulo de ruptura (f_M) em flexão de peças na condição real de uso pelo método de ensaio de obra

Pouco se encontra em literatura usos do valor do módulo de ruptura (f_M), ou seja, sua resistência resultante do ensaio de flexão, porém, na prática é muito comum observar peças de madeira danificadas por flexão. Um exemplo bastante comum são as vigas, tanto as vigas de pisos, de pontes, de componentes estruturais de cobertura e como outras mais.

A Figura 47 apresenta as médias dos resultados obtidos de f_M em flexão das vigas através do método de ensaio de obra.

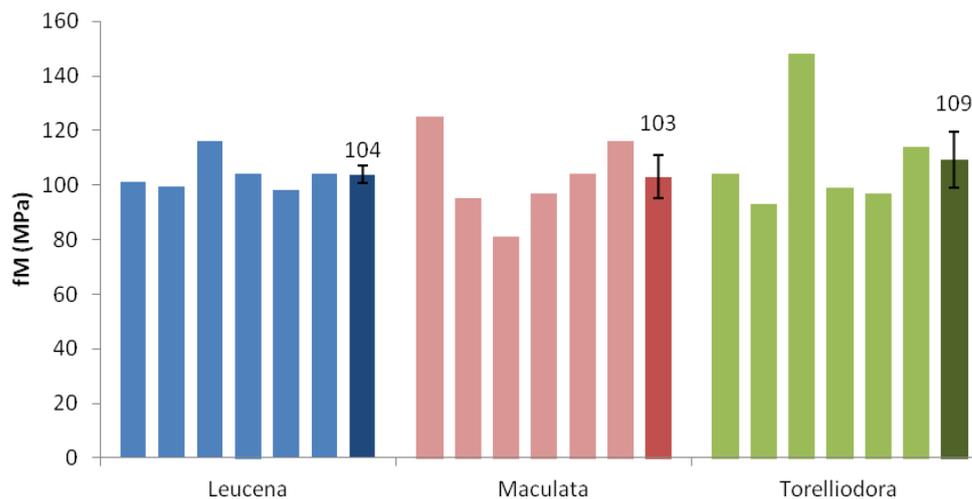


Figura 47 - Módulos de ruptura (f_M) determinados através do ensaio de obra

Como se pode observar, o Maculata apresentou valores um pouco mais baixos que as demais espécies. Houve muita incidência de nós nas espécies que influenciaram em alguns casos na ruptura (Figura 48 (a, b, c e d)). Os ensaios foram relativamente simples, porém não tão rápidos pelo fato de se ter que aumentar o vão (L) de um em um centímetro, a fim de assegurar maior exatidão dos resultados, mesmo assim, foram mais rápidos do que os ensaios recomendados pela norma brasileira NBR 7190/97.

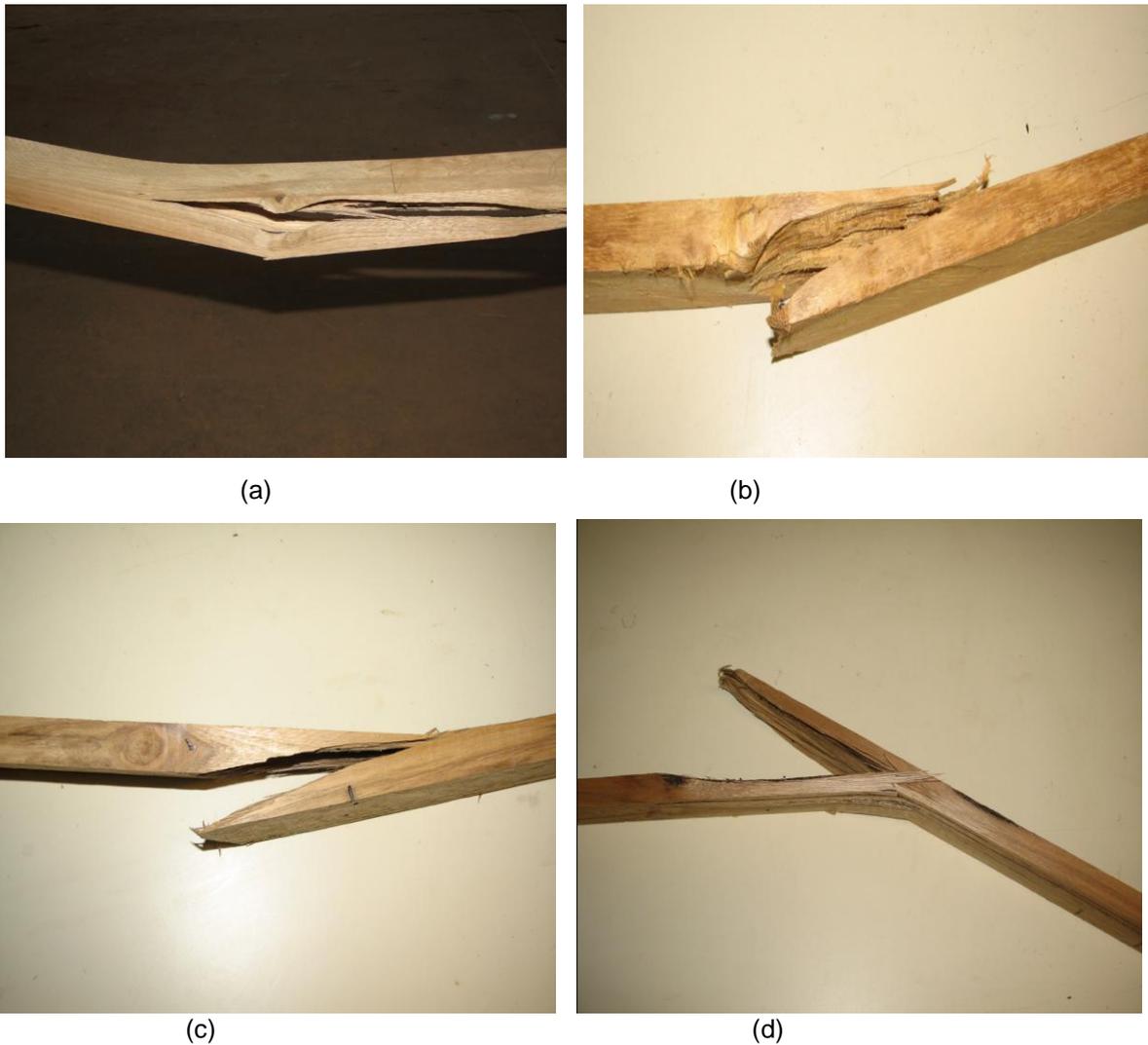


Figura 48 - Exemplos de rupturas nos nós e desvio de grã das peças através do ensaio de obra (Maculata) (a); Leucena (b); Maculata (c); Torelliodora (d)

4.9 Resultados obtidos do módulo de ruptura (f_M) em flexão de corpos de prova segundo recomendações da Norma brasileira NBR 7190/97

A Figura (49) apresenta as médias dos resultados obtidos de f_M em flexão de corpos de prova através de ensaio recomendado pela Norma brasileira NBR 7190/97.

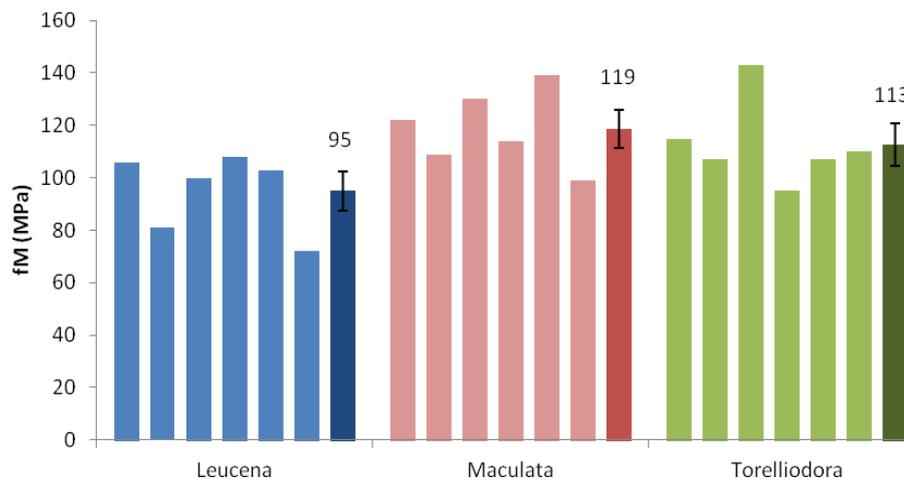


Figura 49 - Módulos de Ruptura (f_M) determinados segundo a norma NBR 7190/97

Nesse caso, a Leucena apresentou média de módulo de ruptura (f_M) um pouco mais baixa que a obtida pelo ensaio de obra, mostrando que mesmo em corpos de prova, os defeitos de desvio de grã não podem ser controlados. Esse ensaio demandou mais tempo por se fazer o diagrama de carregamento.

4.10 Comparação entre métodos utilizados para a obtenção do módulo de ruptura (f_M) em flexão das espécies selecionadas

Foram comparados os métodos de ensaios para a obtenção do módulo de ruptura (f_M) em flexão a fim de avaliar os métodos (Figura 50). No quadro de análise variância apresentado na Tabela 11 verifica-se que não houve diferença estatística entre os métodos.

Tabela 11 - Componentes de variância referentes aos métodos de ensaios para a obtenção do MOR das espécies Leucena, Maculata e Torelliodora

Causa de variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrado médio	Valor de F	Pr(>F)
Espécie	2	1035,17	517,58	2,26	0,1218
Métodos	1	104,93	104,93	0,46	0,5037
E*M	2	902,71	451,35	1,97	0,1570
Resíduo	30	6870,71	229,02		

Coeficiente de variação: 14,14%

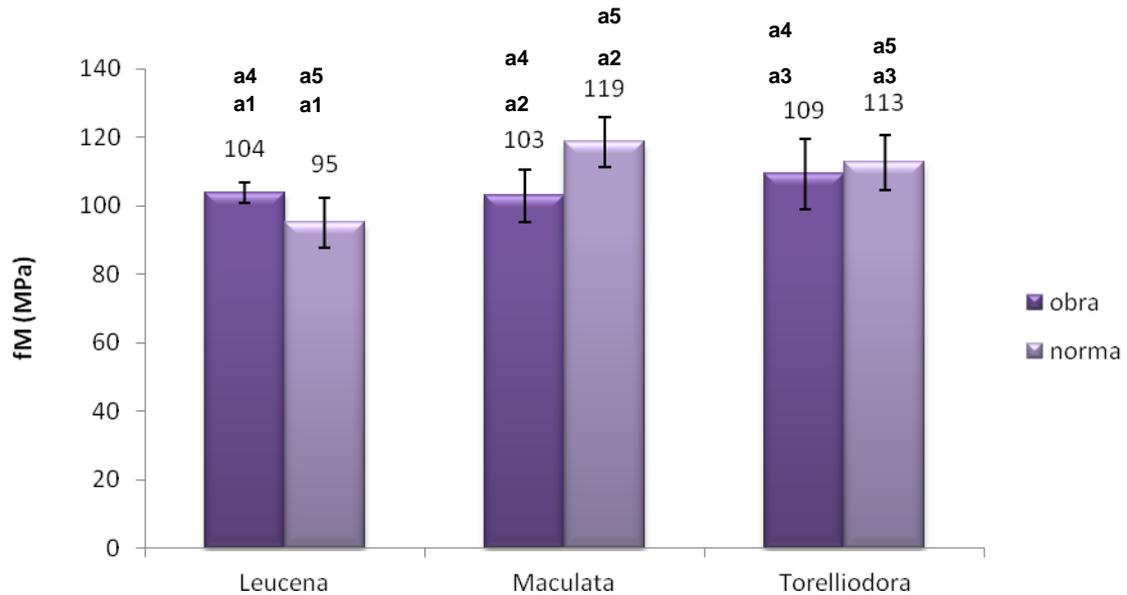


Figura 50 - Módulo de ruptura (f_M) com índices indicativos das médias em comparação sendo 1 para comparação dos métodos de ensaios utilizados dentro da Leucena, 2 para métodos dentro do Maculata e 3 para métodos dentro do Torelliodora. Os índices 4 são indicativos das comparações das espécies dentro de ensaio de obra e 6 dentro do ensaio da norma

Ao efetuar a análise de variância para os métodos de ensaio, verificou-se que não houve diferença significativa entre os métodos utilizados para a determinação do módulo de ruptura (f_M). As comparações de médias efetuadas mediante o teste de Tukey, também mostrou que não houve diferenças no módulo de ruptura (f_M) entre as espécies.

Essa análise mostra novamente uma vantagem sobre o método de ensaio de obra. Podendo-se admitir que esse método possa ser utilizado com segurança para a obtenção da resistência à flexão de uma madeira.

4.11 Resultados obtidos de densidade aparente e das propriedades mecânicas relevantes à engenharia segundo recomendações da Norma brasileira NBR 7190/97 das espécies estudadas referenciadas com espécies consagradas no mercado

Ao estudar o que é proposto pelas normas, entende-se que, por estes ensaios serem realizados em corpos de prova isentos de defeitos e com pequenas dimensões, não exprimem o comportamento real de uma peça quando solicitada a um determinado esforço. Ainda mais, visto que a variabilidade dos resultados já é alta em amostras sem defeitos, numa peça estrutural, a variabilidade será ainda

maior, causada pela presença dos defeitos de crescimento entre outros, além de defeitos ocorridos na secagem. Outro ponto importante é que poucos são os ensaios que realmente contribuem para o mercado madeireiro. Dentro de uma visão mercadológica, os ensaios de flexão estática, onde são determinados os valores de módulo de elasticidade (E_{M0}) e o módulo de ruptura (f_M), os ensaios de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras (f_{V0}), módulo de elasticidade na compressão (E_{C0}) e de resistência à compressão paralela às fibras (f_{C0}), permitem calcular o valor mínimo de segurança para uma madeira ser recomendada e direcionada à construção civil; lembrando que no mercado não existe madeira isenta de defeitos.

A norma NBR 7190/97, usada como referência bibliográfica, apresenta informações tecnológicas para comparação entre espécies.

Essa estratégia adotada de aferir valores com espécies tradicionais busca facilitar a aceitação de espécies “novas” no mercado.

Neste item estão apresentados os valores médios de densidade aparente e das propriedades de resistência à flexão (f_M e E_{M0}), cisalhamento paralelo (f_{V0}) e compressão paralela às fibras (f_{C0} e E_{C0}), juntamente com dados da literatura de espécies tradicionais no mercado como o Cambará (*Qualea spp.*), a Garapeira (*Apuleia leiocarpa*) e o eucalipto Citriodora (*Corymbia citriodora*).

4.11.1 Densidade aparente

A Figura 51 apresenta os valores de densidade aparente (12%) encontrados para as espécies Leucena, Maculata, Torelliodora. A densidade aparente não é requisito básico para indicação de usos, mas pode ser útil para projetos onde o peso da estrutura de madeira seja relevante.

Os valores de densidade aparente adotados como referência foram os citados pela norma brasileira NBR 7190/97, onde os ensaios foram padronizados. Os valores correspondentes de densidade aparente do Cambará, da Garapeira, do Citriodora e do Maculata citados pela norma são respectivamente 856 Kg/ m^3 , 892 Kg/ m^3 , 999 Kg/ m^3 e 931 Kg/ m^3 .

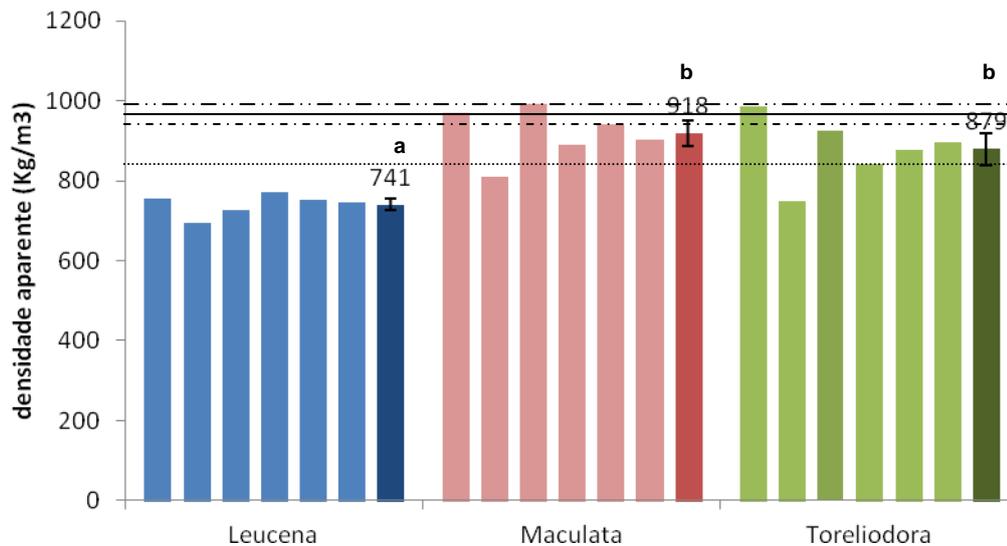


Figura 51 – Valores de densidade aparente

- Cambará, valores de literatura
- Garapeira, valores de literatura
- .-.-.- Citriodora, valores de literatura
- Maculata, valores de literatura

A Leucena apresentou densidade aparente menor que as demais espécies. E menor variabilidade. O Maculata e o Toreliodora apresentaram densidades equivalentes ao Cambará e a Garapeira.

Segundo Frihart (2005), a massa específica da madeira deve ser considerada como um fator importante, pois influencia na capacidade do adesivo penetrar na madeira.

A Leucena por apresentar uma densidade mais baixa pode apresentar uma melhor qualidade de adesão podendo ser direcionada para a manufatura de Madeira Laminada Colada (MLC).

4.11.2 Flexão

A flexão é um fenômeno complexo que apresenta componentes de vários tipos de esforços como, compressão, tração e cisalhamento. A norma brasileira recomenda o ensaio de flexão, porém não utiliza a resistência à flexão nos cálculos estruturais. A norma utiliza tração e compressão. No entanto, o ensaio de tração, pela fragilidade do corpo de prova e pela forte resistência da madeira nessa solicitação, o corpo de prova se danifica antes mesmo de se obter os resultados. A

dificuldade em se encontrar uma forma eficaz de realizar o ensaio de tração paralela, justifica a falta de dados na literatura. A tração paralela tem forte presença no ensaio de flexão.

As Figuras 52 e 53 apresentam respectivamente os valores médios de módulo de ruptura (f_M) e módulo de elasticidade (E_{M0}) de corpos de prova obtidos através do ensaio recomendado pela norma brasileira NBR 7190/97 referenciadas com madeiras tradicionais no mercado.

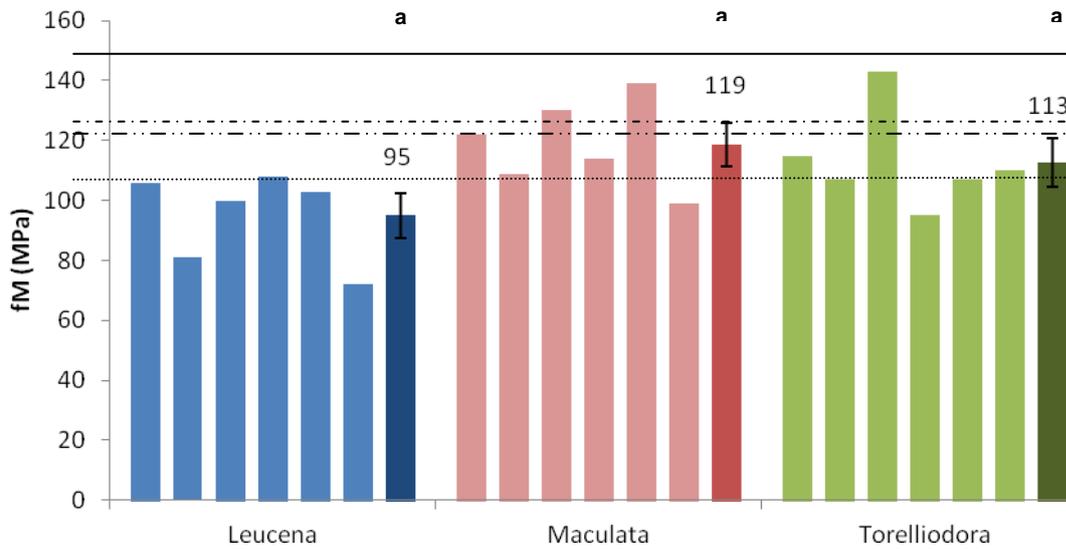


Figura 52 – Módulo de ruptura (f_M) determinados em ensaio de flexão

- Cambará, valores de literatura
- Garapeira, valores de literatura
- .-.-.- Citriodora, valores de literatura
- Maculata, valores de literatura

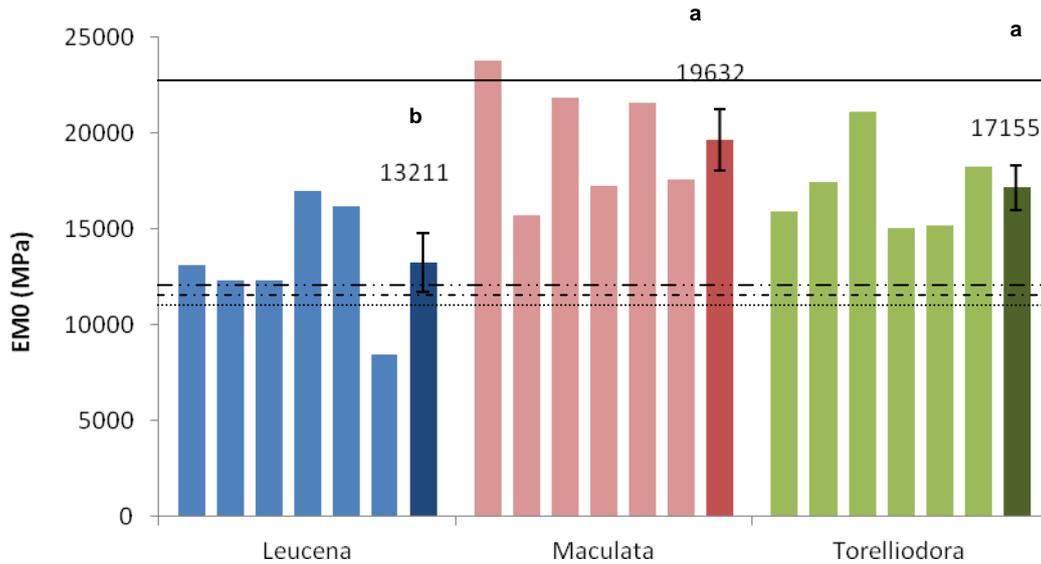


Figura 53 - Módulo de elasticidade (E_{M0}) determinados em ensaio de flexão

- Cambará, valores de literatura
- . - . - . Garapeira, valores de literatura
- - - - - Citriodora, valores de literatura
- Maculata, valores de literatura

Para o módulo de ruptura (f_M) e módulo de elasticidade (E_{M0}) em flexão não foram encontrados referências na norma brasileira NBR 7190/97, portanto foram usados como referência literária, os valores das propriedades mecânicas obtidas por Araujo (2007), sendo para o Cambará $f_M=107,58$ MPa e $E_{M0}=12553$ MPa; e para a Garapeira, $f_M= 124,74$ MPa e $E_{M0}= 12651$ MPa;

Zenid (2009) cita valores para o Citriodora de $f_M= 121,4$ MPa (15% de umidade) e $E_{M0}= 13337$ MPa (madeira verde).

Para Wallis (1970) os resultados de módulo de ruptura (f_M) e módulo de elasticidade (E_{M0}) encontrados para o Maculata foram respectivamente 150 MPa e 23.000 MPa, mostrando a variabilidade que ocorre entre árvores da mesma espécie.

A Leucena apresentou valores de f_M mais baixos que as espécies aqui usadas para comparação, porém apresentou E_{M0} equivalentes. Isso se explica pelo fato do desvio de grã influenciar fortemente no módulo de ruptura (f_M) (Figura 54), mas para o módulo de elasticidade (E_{M0}) onde a carga é menor, não houve muita influência. Esse desvio pode ser ocasionado pela conicidade da árvore que no desdobro não acompanha o sentido da grã, portanto dificilmente consegue-se obter uma peça ou um corpo de prova isento de defeitos. Com os valores obtidos, pode-se concluir que

essa espécie é promissora, motivo para novas pesquisas de melhoramentos. A Leucena é indicada para construções leves e móveis em geral.



Figura 54 - Corpo de prova da Leucena com ruptura provocada por desvio de grã

O Maculata e o Torelliodora apresentaram valores de módulo de ruptura (f_M) e de elasticidade (E_{M0}) superiores ao do Cambará que é muito utilizada em estruturas, qualificando-as como sendo aptas para essa propriedade mecânica em projetos estruturais.

4.11.3 Cisalhamento paralelo às fibras

Este ítem apresenta os valores médios de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras de corpos de prova através de ensaio recomendado pela norma brasileira NBR 7190/97 (Figura 55).

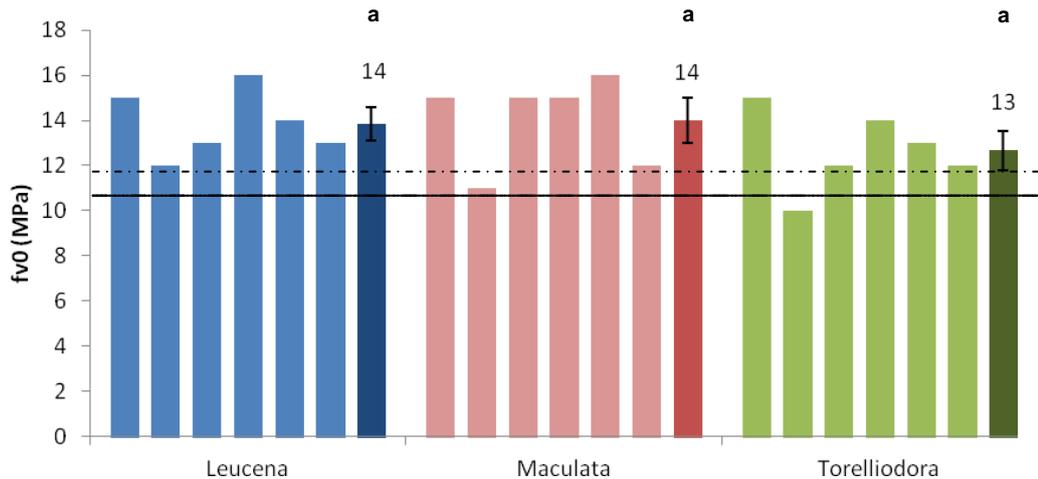


Figura 55 - Resistência ao cisalhamento (f_{v0}) determinados em ensaios de cisalhamento

- Cambará, valores de literatura
- - - - - Garapeira, valores de literatura
- Citriodora, valores de literatura
- Maculata, valores de literatura

As espécies apresentaram médias de resistência ao cisalhamento superior comparadas com as madeiras usadas como referências nesse estudo.

Os valores de resistência ao cisalhamento citados pela norma NBR 7190/97 são para o Cambará $f_v = 10,6$ Mpa, Garapeira $f_v = 11,9$ Mpa, Citriodora $f_v = 10,7$ Mpa e o Maculata $f_v = 10,6$ MPa. A resistência ao cisalhamento obtida do Maculata nesse estudo foi notavelmente inferior às relatadas por Cerchiari (2013) que utilizou do mesmo lote de madeiras serrada para realizar seus estudos. A autora relata o valor médio de 21 MPa para a resistência ao cisalhamento da madeira maciça do Maculata, podendo concluir que devido a aleatoriedade na escolha das vigas, foram utilizadas nesse estudo vigas mais próximas da medula, mostrando a variabilidade que pode ocorrer dentro de uma mesma árvore, além dos defeitos de desvio de grã apresentado nas três espécies (Figura 56 (a, b e c)).

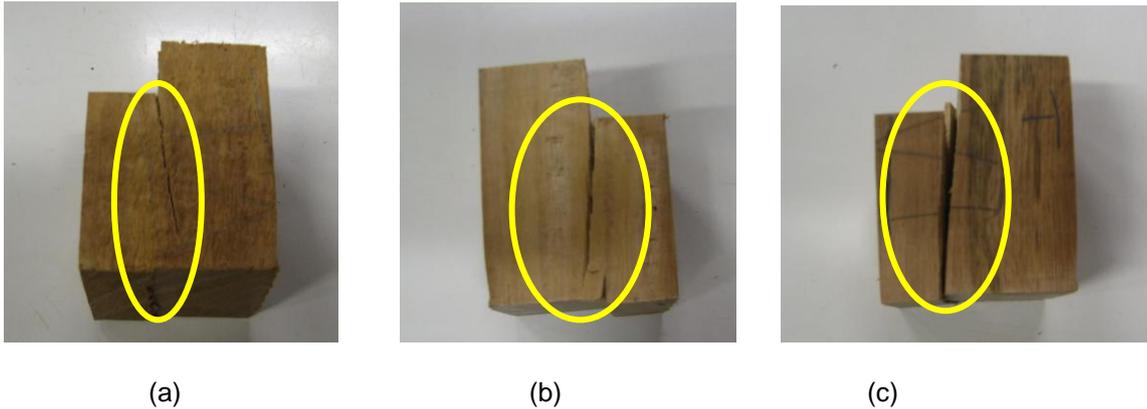


Figura 56 - Corpos de prova com exemplos de ruptura com desvio de grã; Leucena (a); Maculata (b); Torelliodora (c)

A tendência da densidade aparente e das propriedades mecânicas da madeira é apresentar aumento no sentido medula- casca (PASHIN; ZEEUW, 1980)

Com os resultados obtidos das espécies qualificam-nas como sendo aptas para essa propriedade mecânica quando comparada com as outras espécies madeireiras utilizadas no mercado.

4.11.4 Compressão paralela às fibras

Este ítem apresenta os valores médios de resistência à compressão paralela às fibras (f_{c0}) e módulo de elasticidade, referenciado como (E_{c0}) na norma, de corpos de prova através de ensaio recomendado pela norma brasileira NBR 7190/97 (Figuras 57 e 58)

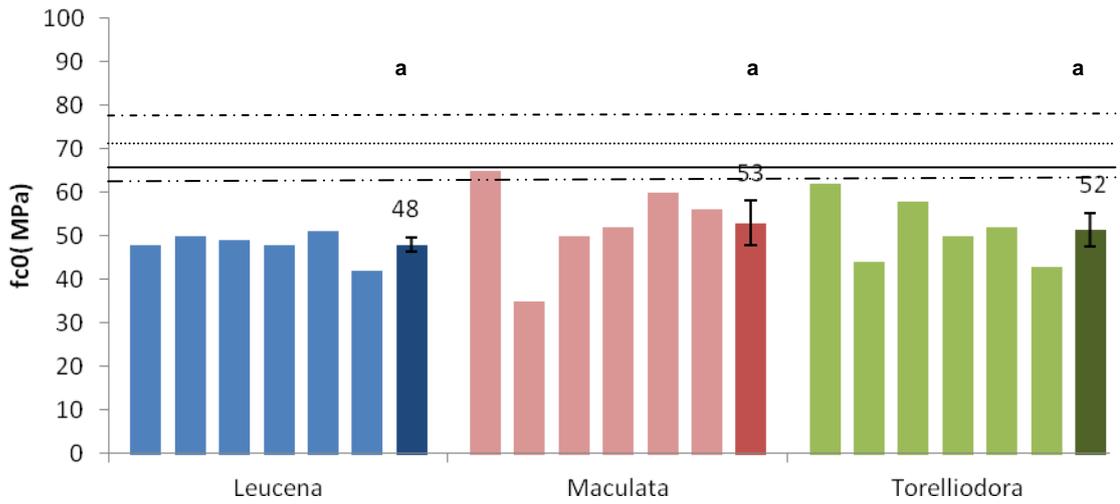


Figura 57 - Resistência à compressão (f_{c0}) determinados em ensaios de compressão paralela

- Cambará, valores de literatura
- .-.-.- Garapeira, valores de literatura
- .-.-.- Citriodora, valores de literatura
- Maculata, valores de literatura

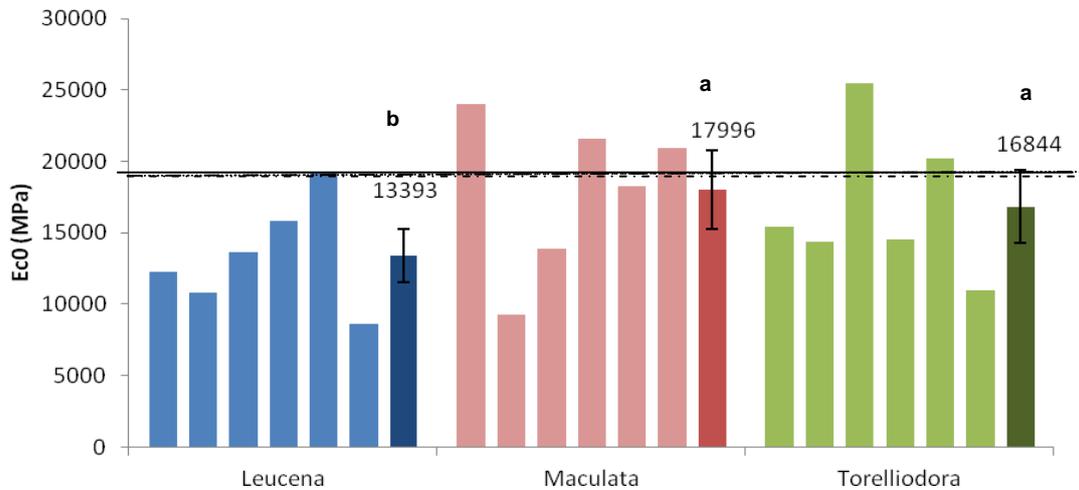
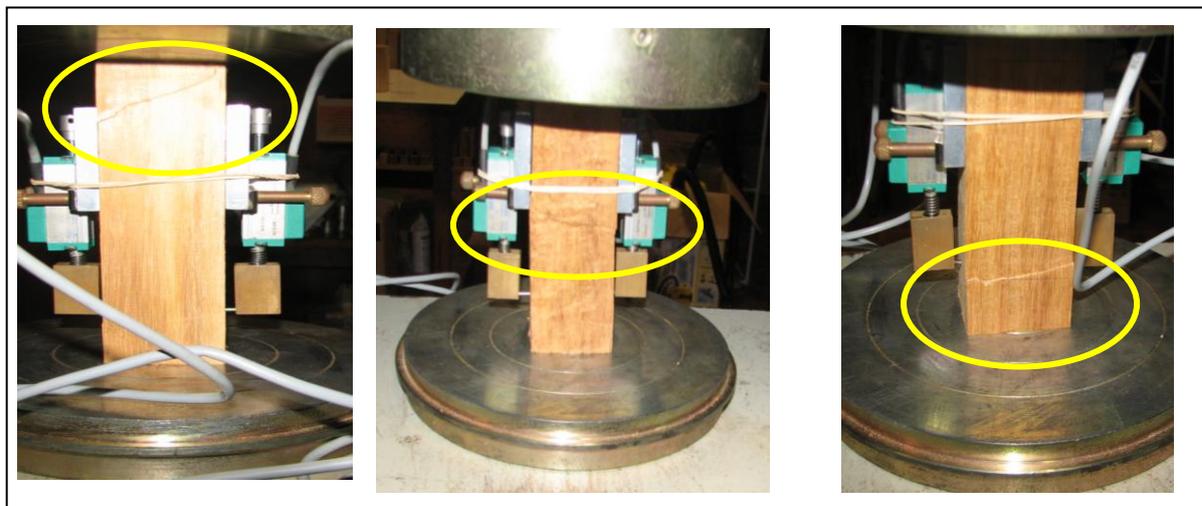


Figura 58 - Módulo de elasticidade (E_{M0}) determinados nos ensaios à compressão paralela

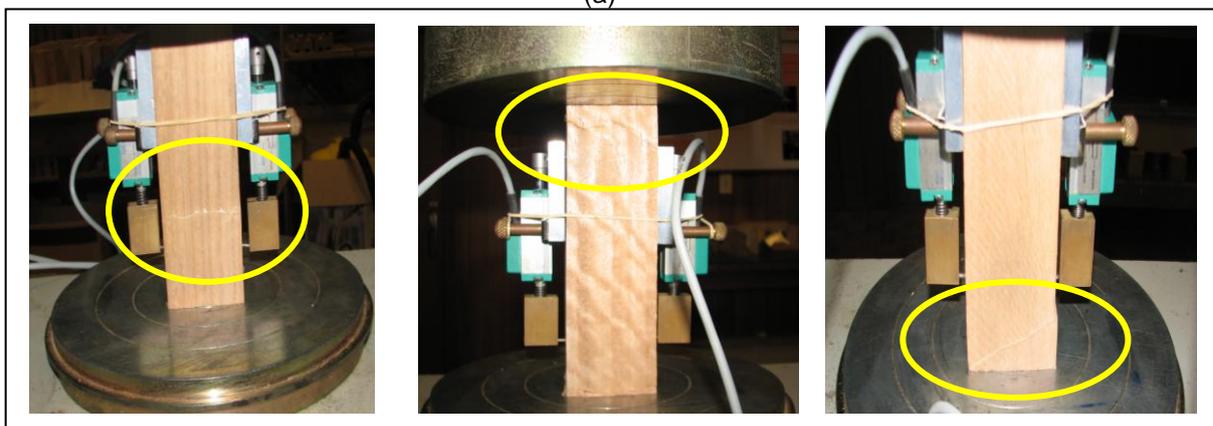
- Cambará, valores de literatura
- .-.-.- Garapeira, valores de literatura
- .-.-.- Citriodora, valores de literatura
- Maculata, valores de literatura

Os valores de resistência à compressão paralela e módulo de elasticidade citados pela norma brasileira NBR 7190/97 para o Cambará são $f_{c0}= 71,4\text{MPa}$, $E_{c0}= 18971$; par a Garapeira $f_{c0}= 78,4\text{MPa}$, $E_{c0}=18359$; para o Citriodora $f_{c0}= 62$, $E_{c0}= 18421\text{MPa}$ e para o Maculata $f_{c0}= 63,5$, $E_{c0}= 18099 \text{MPa}$.

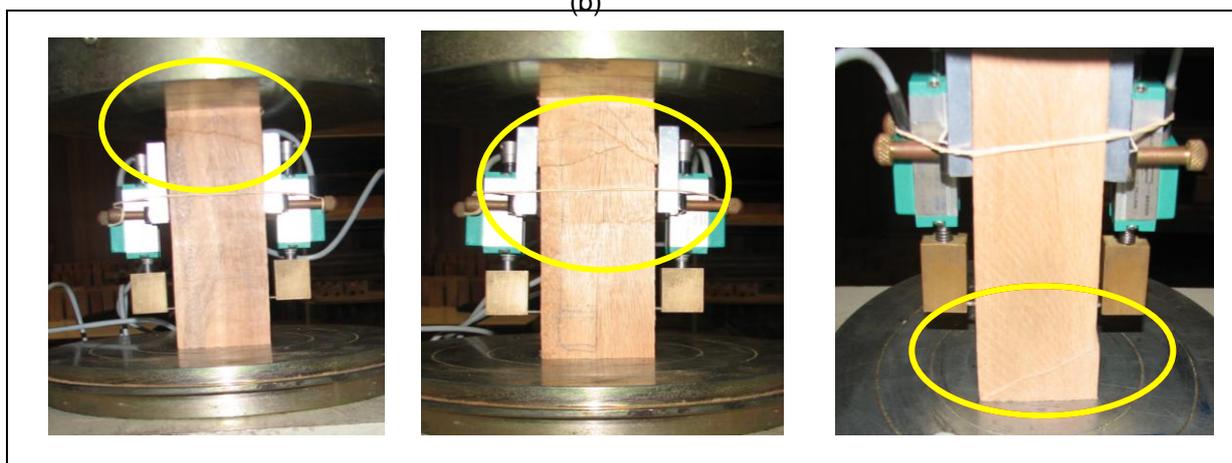
As espécies apresentaram médias de f_{c0} e E_{c0} mais baixas quando referenciadas com as espécies citadas acima, no entanto, é muito expressiva a variabilidade nos resultados, mostrando a influência da homogeneidade das peças (Figura 59 (a, b e c)). A ruptura ocorreu à meia altura do corpo de prova ou próxima dessa meia altura, pois o estado de tensão favoreceu a resistência. A tendência é romper na extremidade superior e, portanto, quando rompe no meio é porque nessa região a resistência é mais baixa, mesmo que ligeiramente. Assim, um corpo de prova extremamente homogêneo tende a romper-se nas extremidades principalmente na superior por causa da articulação do prato de aplicação de carga. É importante salientar que as espécies usadas para comparação citadas pela norma NBR 7190/97 são de maiores diâmetros e mais velhas que as espécies utilizadas nesse estudo. Mesmo assim, apresentaram médias superiores de f_{c0} comparadas ao *Pinus taeda*, espécie muito utilizada nos Estados Unidos, a qual Oliveira et al. (2006) relatam valor de $f_{c0} = 36,03$ MPa para espécies com 20 anos tornando-as entretanto, aptas ao mercado madeireiro.



(a)



(b)



(c)

Figura 59 – Corpos de prova com diferentes formas de compressão, meio do corpo de prova, na extremidade superior e na base; Leucena (a), Maculata (b), Torelliodora (c)

Na Figura 59 (b), o rompimento na base ocorreu especificamente por um desvio de grã, apresentando a resistência mais baixa.

4.12 Correlação entre o módulo de elasticidade (E_{M0}) e módulo de ruptura (f_M), e entre resistência à compressão (f_{c0}) e outras propriedades; e valores de módulo de ruptura (f_M) através da literatura

Na Figura 60 encontra-se o coeficiente de correlação $R^2 = 0,7405$ encontrado entre módulo de elasticidade (E_{M0}) e módulo de ruptura (f_M) determinados em ensaios destrutíveis segundo recomendações da norma brasileira NBR 7190/97 das espécies estudadas, assegurando a probabilidade de estimar o f_M através do E_{M0} em 74,05%; e valores determinados segundo equações de Furiati (1981).

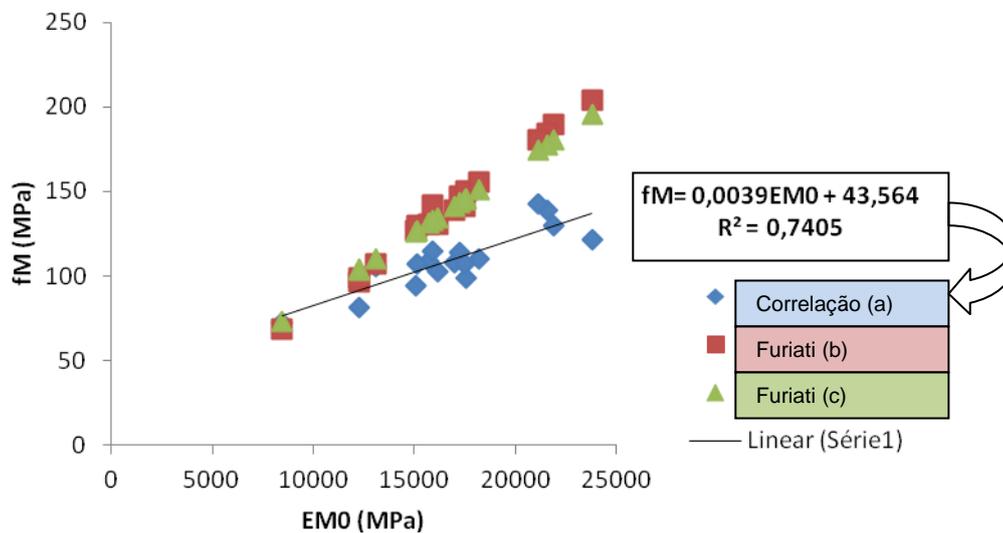


Figura 60 – Correlação encontrada entre E_{M0} e f_M determinados em ensaio destrutivo segundo a norma NBR 7190/97 (a); valores determinados de f_M segundo Furiati (1981) eq. $\sigma f = 0,008E + 552,14D$ (b) e eq. $\sigma f = 0,008E + 54,27$ (c)

Não se pode assegurar que as equações sugeridas por Furiati (1981) sejam um bom parâmetro para estimar o módulo de ruptura para as espécies estudadas.

A norma brasileira NBR 7190 - Projeto de Estruturas de Madeira, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1997), classifica as madeiras em classes de resistência tendo como referência o ensaio de compressão paralela às fibras.

Na Figura 61 observam-se os coeficientes de correlação R^2 encontrados entre f_{c0} e outras propriedades determinadas em ensaios recomendados pela norma NBR7190/97, assegurando uma correlação muito fraca para estimar as propriedades

mecânicas através da resistência à compressão paralela as fibras e uma correlação também muito fraca entre a f_{c0} e a densidade aparente, podendo concluir que há vários fatores que influenciam nas propriedades mecânicas das madeiras.

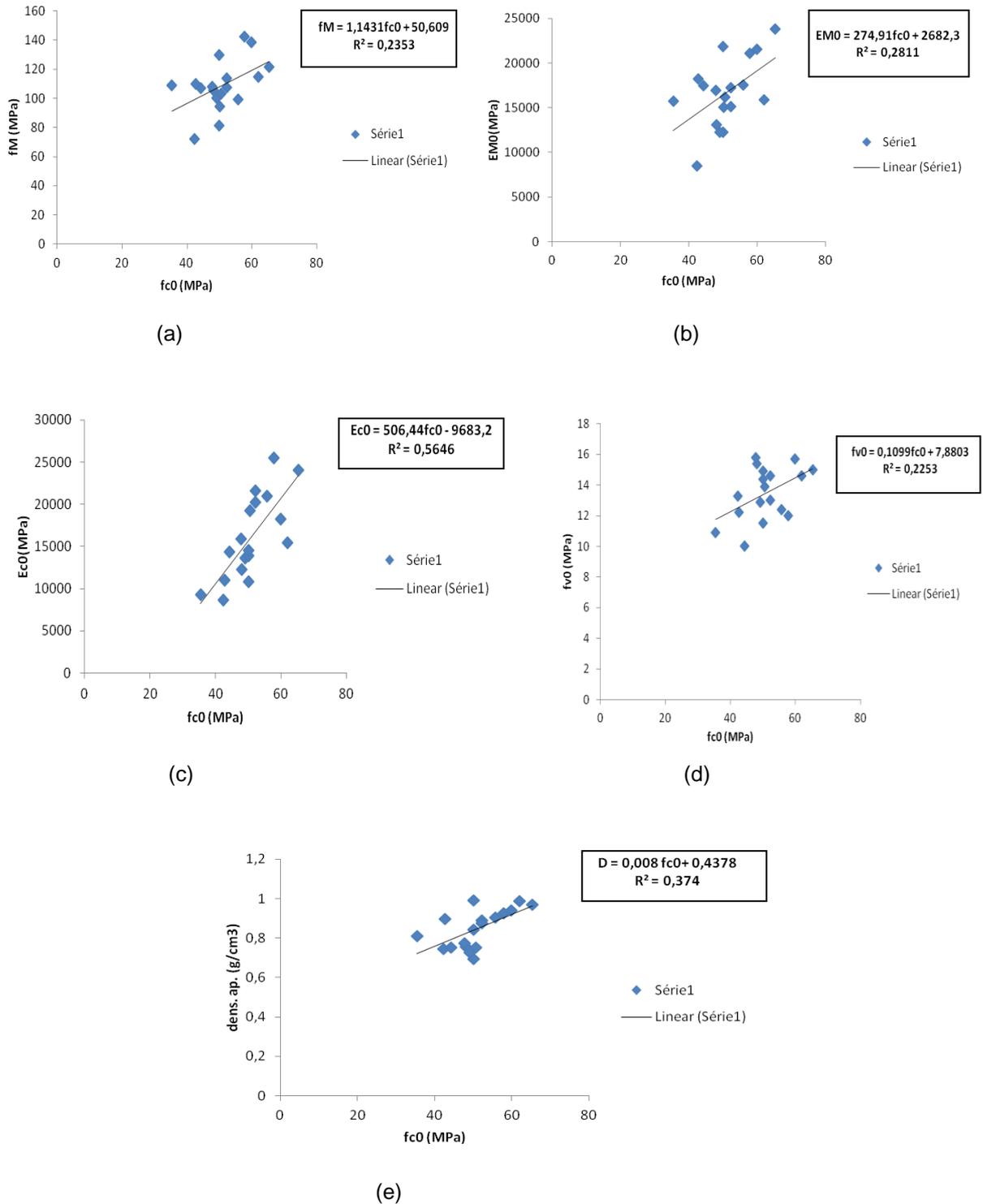


Figura 61 – Correlações encontrada entre f_{c0} e f_M (a), entre f_{c0} e E_{M0} (b), entre f_{c0} e E_{c0} (c), entre f_{c0} e f_{v0} (d) e f_{c0} e densidade aparente (e) determinados em ensaios segundo a norma NBR 7190/97

Madeiras comercializadas com valores de módulo de elasticidade (E_{M0}) e módulo de ruptura (f_M) agregam valor ao produto o qual poderá ser utilizado em projetos estruturais, possibilitando os engenheiros e projetistas, incrementarem a segurança nas estruturas de madeira. Segundo Furiati (1981), as peças de madeira quando corretamente posicionadas na estrutura, levam à um acréscimo extra na segurança global do conjunto, independente do coeficiente de segurança adotado.

Em termos mercadológicos, segundo Pereira e Tomaselli (2004) o aprimoramento da qualidade das madeiras é importante para que os produtos delas oriundos possam ganhar mercado e estabelecer um conceito cada vez mais favorável entre os consumidores.

Para o Brasil evoluir, tornar-se competitivo no mercado madeireiro, precisa melhorar a qualidade dos seus produtos e obter uma maior produtividade. Para tal, faz-se necessário gerar produtos e serviços orientados para as necessidades do mercado.

5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos neste trabalho, apresentam-se as seguintes conclusões:

- A metodologia do ensaio de obra proposta permite determinar-se o módulo de elasticidade (E_{M0}) e o módulo de ruptura (f_M) na flexão de peças de dimensões estruturais, apresentando um novo conceito de otimização de ensaios;
- As espécies *Leucaena leucocephala*, *Corymbia maculata* e híbrido *torelliodora* (*Corymbia torelliana* x *Corymbia*), são aptas para mercado madeireiro, inclusive o de madeira estrutural;
- Não há diferença significativa para a obtenção do módulo de elasticidade (E_{M0}) e de ruptura (f_M) entre vigas na condição real de uso e em corpos de prova, visto que dificilmente consegue-se um corpo de prova totalmente isento de defeitos;
- A correlação entre o módulo de elasticidade (E_{M0}) e o módulo de ruptura (f_M) indica a probabilidade de 74,05% em estimar o módulo de ruptura (f_M) através do módulo de elasticidade (E_{M0}). No entanto, há uma correlação muito fraca entre a resistência à compressão (f_{c0}) e as outras propriedades da madeira (módulo de ruptura (f_M), módulo de elasticidade na flexão (E_{M0}), módulo de elasticidade na compressão (E_{C0}), resistência ao cisalhamento (f_{V0}) e densidade aparente). As correlações corroboram para que as madeiras sejam classificadas, para fins estruturais, a partir da determinação de seus valores de módulo de elasticidade na flexão (E_{M0});
- As equações recomendadas pela literatura para estimar o módulo de ruptura (f_M) não são eficazes para as espécies estudadas;
- Recomenda-se que a madeira seja comercializada e qualificada pelo módulo de elasticidade (E_{M0}) e módulo de ruptura (f_M) para cálculos e dimensionamentos de estruturas de madeira, possibilitando otimização de material e maior segurança nas estruturas. Está evidenciado que o ensaio de obra, por ser de fácil execução, de baixo custo, constitui-se numa metodologia que pode ser transferida a nível comercial e de obra, para classificação e utilização otimizada da madeira.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D143-09 Standard test methods for small clear specimens of timber**. West Conshohocken, 2000. 31 p.

_____. **D-198-09 Standard test methods of static tests of lumber in structural sizes**. West Conshohocken, 2009. 26 p.

APRILANTI, M.D. **Influência de um corte na borda tracionada de uma viga maciça simulando uma emenda de topo na lâmina inferior de vigas laminadas coladas**. 2010. 108 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

APRILANTI, M.D.; PARRA SERRANO, L.J.; GARCIA, J.N. Amostragem mínima para classificação mecânica da madeira. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 12., 2010, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, 2010. v. 1, p. 1-8.

ARAUJO, H.J.B. Relações funcionais entre propriedades físicas e mecânicas de madeiras tropicais brasileiras. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 37, n. 3, p. 399-416, set./dez. 2007.

ASSIS, T.F. Melhoramento para produtividade e qualidade de celulose de fibra curta. In: WORKSHOP SOBRE MELHORAMENTO DE ESPÉCIES FLORESTAIS E PALMÁCEAS NO BRASIL, 2001, Curitiba. **Anais...** Colombo: Embrapa Florestas, 2001. p. 193-214. (Embrapa Florestas. Documentos, 62).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Estudo setorial 2004**. Curitiba, 2003. 67 p.

_____. **Estudo setorial 2006**. Curitiba, 2005. 51 p.

_____. **Estudo setorial 2008**. Curitiba, 2007. 56 p.

_____. **Estudo setorial 2009**. Curitiba, 2008. 56 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico ano base 2011**. Brasília, 2012. 150 p. Disponível em: <<http://www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF12/ABRAF12-BR.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7203/1982**: madeira serrada e beneficiada. Rio de Janeiro, 1982. 2 p.

_____. **NBR 7190/1997**: projetos de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997. 107 p.

_____. **NBR 14807/2002**: peças de madeira serrada: dimensões. Rio de Janeiro, 2002. 10 p.

- AUSTRÁLIA. Department of Agriculture and Food. **Spotted gum: *Corymbia maculata*** (formerly *Eucalyptus maculata*). 2008. Disponível em <http://www.agric.wa.gov.au/PC_92546.html?s=1001>. Acesso em: 10 jul. 2011.
- BACHA, C.J.C. O apagão verde está chegando. **Exame**, n. 849, 2005. Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/revista-exame/edicoes/0849/noticias/o-apagao-verde-esta-chegando-m0080055>>. Acesso: 21 nov. 2011.
- BARCHET, V.G. **Potencialidade de Espécies de *Eucalyptus* para a produção de madeira serrada**, 166 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.
- BATISTA, A.M.; ROSSI, N.; MASCIA, N.T.; FURLANI, J.E. Estudo da flexão estática: relação entre peças de madeira com dimensões estruturais e dimensões reduzidas. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 7., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: USP, EESC, 2000.
- BÊDE, S.N.P.; FROTA, J.N.E.; VASCONCELOS, I.; ALVES, J.F. Identificação de fatores nutricionais limitantes da fixação simbiótica do nitrogênio atmosférico em leucena. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v. 9, n. 1, p. 5-7, 1985.
- BUDELMAN, A. The performance of the leaf mulches of *Leucaena leucocephala*, *Flemingia macrophylla* and *Gliricidia sepium* in weed control. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 6, p. 137-145, 1988.
- BURGER, L.; RICHTER, H. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 154 p.
- CALIL JR., C.; LAHR, F.A.R.; DIAS, A.A. **Dimensionamento de elementos estruturais de madeira**. Barueri: Manole, 2003. 152 p.
- CERCHIARI, A.M.F. **Aprimoramento do poliuretano a base de óleo de mamona na manufatura de Madeira Laminada Colada (MLC) de *Cupressus lusitanica*, *Corymbia maculata* e *Hevea brasiliensis***. 2013. 99 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.
- CERCHIARI, A.M.F.; GAVA, M.; GARCIA, J.N. Avaliação de produtos para impermeabilização da madeira, **Cerne**, Lavras, v. 16, p. 1-8, 2010. Suplemento.
- CHAFE, S.C. Collapse, volumetric shrinkage, specific gravity and extractives in *Eucalyptus* and others species: part 1 – the shrinkages/specific gravity ratio. **Wood Science and Technology**, Melbourne, v. 20, n. 4, p. 293-307, 1986.
- _____. Collapse, volumetric shrinkage, specific gravity and extractives in *Eucalyptus* and others species: part 2 – the influence of wood extractives. **Wood Science and Technology**, Melbourne, v. 21, n. 1, p. 27-41, 1987.

CHIMELO, J.P. **Development of a probability-based computerization system for identification and for property prediction of selected tropical hardwoods**. 1980. 202 p. Thesis (PhD) – Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, 1980.

COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. **COPANT-462**: maderas – método de determinación de la contracción. Lima, 1972. 3 p.

DANA, E.D.; RANDALL, R.P.; SANZ-ELORZA, M.; SOBRINO, E. First evidences of the invasive behaviour of *Leucaena leucocephala* in Europe. **Oryx**, Cambridge, v. 37, p. 14-14, 2003.

DARIO, G.; OLIVEIRA, S.D. Estratégias adotadas pelo setor madeireiro de Laranjeiras, PR: o caso Becher. **Revista Eletrônica Lato Sensu**, ano 2, n. 1, 2007. Disponível em: <<http://www.unicentro.br>>. Acesso em: 22 abr. 2012.

DIAS, F.M., LAHR, F.A.R. Estimativa de propriedades de resistência e rigidez da madeira através da densidade aparente. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 65, p. 102-113, jun. 2004.

ESAU, K. **Anatomia das plantas com sementes**. São Paulo: Edgard Blucher, 1974. 293 p.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 408:1995**: timber structures – structural timber and glued laminated timber – determination of some physical and mechanical properties. Bruxelles, 1995. 23 p.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood handbook**: wood as an engineering material. Madison: USDA, 1999. 463 p.

FRANCO, A.A.; SOUTO, S.M. **Leucaena leucocephala**: uma leguminosa com múltiplas utilidades para os trópicos. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1986. 7 p. (Comunicação Técnica, 2).

FURIATI, M. **Classificação estrutural de peças de madeira**. 1981. 132 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1981.

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

GARCIA, J.N. Técnicas de desdobro de eucalipto. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, 1995, São Paulo. **Anais...** Piracicaba: IPEF, 1995. p. 59-67.

GAVA, M. **Método da Thin-plate spline – TPS aplicado ao estudo das deformações específicas de retração (Er) da madeira de *Eulyptus urophylla*, *E. saligna* e *E. urograndis***. 2009. 116 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

GIORDANO, G. **Tecnologia del legno: la matéria prima**. Torino: UTET, 1971. 1086 p.

HANSEN, A.T. **Effects of wood shrinkage in buildings**. National Research Council Canadá, 1987. Disponível em: <<http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/cbd/cbd244e.html>>. Acesso em: 11 fev. 2013.

HAYGREEN, J.G.; BOWYER, J.L. **Forest products and wood science: an introduction**. 3rd ed. Ames: Iowa State University Press, 1996. 495 p.

HILDEBRAND, R. **Kiln drying of sawn timber**. Berlin: Maschinenbau GmbH, 1970. 198 p.

HILL, K.D.; JOHNSON, L.A.S. Systematic studies in the eucalypts. 7. A revision of the bloodwoods, genus *Corymbia* (Myrtaceae). **Telopea. Journal of Plant Systematics**, Sydney, v. 6, p. 185-504, 1995.

INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS. Projeto cultivares de eucalipto instala experimento com híbrido de espécies não tradicionais. **IPEF**, Piracicaba, n. 194, set./out. 2008. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/ipefnoticias/ipefnoticias194.pdf>>. Acesso em: 06 set. 2011.

_____. Disponível em: <<http://www.ipef.br/identificacao/cief/especies/maculata.asp>>. Acesso: 20 ago. 2011.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Madeira: uso sustentável na construção civil**. São Paulo, 2003. 59 p. (IPT. Publicação, 2980).

INSTITUTO DO HOMEM E MEIO AMBIENTE DA AMAZÔNIA. **Fatos florestais da Amozônia-2005**. Disponível em: <<http://www.imazon.org.br/publicacoes/livros/fatos-florestais-da-amazonia-2005-1#MERCADO%20DE%20MADEIRA%20AMAZ%C3%94NICA>>. Acesso: 23 nov. 2011.

INTERRAMNENSE, M.T. **Utilização das madeiras de *Eucalyptus cloeziana* (F. MUELL), *Eucalyptus maculata* (HOOK) e *Eucalyptus punctata* DC var. *punctata* para produção de painéis compensados**. 1998. 92 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1998.

KEINERT JR., S. **Laboratory evaluation of *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus robusta* for the manufacture of composition board**. 1980. 372 p. Thesis (PhD) - Department of Forestry, Michigan State University, Michigan, 1980.

KELLISON, R.C. Characteristics affecting quality of timber from plantations, their determination and scope for modification. In: IUFRO WORLD CONGRESS, 17., 1981, Kyoto. **Proceedings...** Kyoto: IUFRO, 1981. p. 77-87.

- KLITZKE, J.R.; TOMASELLI, I. **Secagem da madeira**. Canoinhas: Universidade do Contestado, 2000.
- KLOCK, U. **Qualidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* H. E. Moore**. 2000. 275 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.
- KLUTHCOUSKI, J. **Leucena: uma alternativa para a pequena e média agricultura**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA, 1982. 12 p. (Circular Técnica, 6).
- KOLLMANN, F.F.P.; COTÊ, W.A. **Principles of wood science and technology**. Berlin: Springer-Verlag, 1968. v. 1, 592 p.
- KRETSCHMANN, D.E.; HERNANDEZ, R. Grading timber and glued structural members. In: WALKER, J.C.F. **Primary wood processing principles and practice**. 2nd ed. Dordrecht: Springer, 2006. chap. 10, p. 339-390.
- LOBÃO, M.S.; DELLA LÚCIA, R.M.; MOREIRA, M.S.S.; GOMES, A. Caracterização das propriedades físico-mecânicas da madeira de eucalipto com diferentes densidades. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 889-894, 2004.
- LOGSDON, N.B. **Influência da umidade nas propriedades de resistência e rigidez da madeira**. 1998. 174 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) - Escola de engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.
- McALISTER, R.H.; CLARK III, A. Effect of geographic location and seed source on the bending properties of juvenile and mature loblolly pine. **Forest Products Journal**, Madison, v. 41, n. 9, p. 39-42, Sept. 1991.
- MENDES, B.V. **Alternativas tecnológicas para a agropecuária do semi-árido**. São Paulo: Nobel, 1985. 171 p. (Coleção Mossoroense, 266).
- MINÁ, A.J.S.; OLIVEIRA, F.G.R.; CALIL JÚNIOR, C. DIAS, A.A.; SALES, A.. Avaliação não destrutiva de postes de madeira por meio de ultra-som. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.65, p.188-196, jun. 2004.
- NASCIMENTO, C.C. **Variabilidade da densidade básica e de propriedades mecânicas de madeiras da Amazônia**. 1993.129 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1993.
- NICHOLSON, J.E. Growth stress differences in eucalypts. **Forest Science**, Maryland, v. 19, n. 3, p. 169-174, 1973.
- NITROGEN FIXING TREE ASSOCIATION. **Leucaena: wood production and use**. Waimanalo, 1985. 50 p.
- OLIVEIRA, F.L.; LIMA, I.L.; GARCIA, J.N.; FLORSHEIM, S.M.B. Propriedades da madeira de *Pinus taeda* L. em função da idade e da posição radial na tora. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 18, n. único, p. 59-70, dez. 2006.

OLIVEIRA, J.T.O. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil**. 1997. 2 v. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

OLIVEIRA, V.M.; MENEZZI, C.H.S.; CAMARGOS, J.A.A.; VALE, A.T. Adequação às normas e qualidade da madeira serrada para fins estruturais comercializada no Distrito Federal. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 3, p. 405-412, jul./set. 2008.

OTTE, G. Experiências e controle da qualidade da madeira de eucaliptos e oportunidades no mercado internacional e nacional. In: SEMINÁRIO MADEIRA DE EUCALIPTO: TENDÊNCIAS E USOS, 2001, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: IPEF, 2001. p. 50.

PAES, J.B. Resistência natural da madeira de *Corymbia maculata* (Hook) K.D.Hill & L.A.S. Johnson a fungos e cupins xilófagos, em condições de laboratório. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 6, p. 761-767, nov./dez. 2002.

PANSHIN, A.J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 4th ed. New York: McGraw Hill, 1980. 722 p.

PARRA SERRANO, L.J. **Resistência à tração da madeira e resistência ao cisalhamento no plano de cola, seus impactos na geometria do dente e propriedades mecânicas de emendas dentadas**. 2009. 106 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

PAULA, E.V.C.M.; CABRAL, M.T.F.D.; NASCIMENTO, C.C.; ROCHA, J.S. Propriedades mecânicas de trinta e nove espécies de madeiras do Amazonas. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 2., 1986, São Carlos. **Anais...** São Carlos: USP EESC, 1986. v. 1.

PEREIRA, J.C.D.; TOMAZELLI, I. A influência do desbaste na qualidade da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. var. *elliottii*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 49, p. 61-81, jul./dez. 2004.

PETRAUSKI, S.M.F.C.; MARQUES, G.M.; SILVA, M.L.; CORDEIRO, S.A.; SOARES, N.S. Competitividade do Brasil no mercado internacional de madeira serrada. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 1, p. 99-104, jan./mar.2012.

PFEIL, W.E.; PFEIL, M. **Estruturas de madeira**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003. 224 p.

PIGOZZO, J.C. **Influência da umidade e da densidade na resistência à compressão da madeira**. 1982. 114 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1982.

PIGOZZO, J.C.; PLETZ, E.; LAHR, F.A.R. Aspectos da classificação mecânica de peças estruturais de madeira. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 7., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: USP, EESC, 2000.

POLZL, W.B.; SANTOS, A.J.; TIMOFEICZYK JR, R.; POLZL, P.K. Cadeia produtiva do processamento mecânico da madeira-segmento da madeira serrada no estado do Paraná. **Revista Floresta**, Paraná, v. 33, n. 2, p. 127-134, 2003.

PONCE, R.H. Madeira serrada de eucalipto: desafios e perspectivas. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, 1955, São Paulo, 1995. **Anais...** Piracicaba: IPEF; São Paulo: IPT, 1995. p. 50-58. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/seminario_serraria/cap06.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2012.

PRIMEFACTS. ***Corymbia maculata*, *Corymbia citriodora subsp. variegata* and *Corymbia henryi***. 2010. Disponível em: <http://www.dpi.nsw.gov.au/__data/assets/pdf_file/0008/363806/Corymbia-maculata-variegata-henryi.pdf> Acesso em: 19 jan. 2011.

RIBEIRO, C.A.S.; SILVA, J.A.A.; FERREIRA, R.L.C.; MEUNIER, I.M.J.; FERRAZ, I. Seleção de modelos volumétricos para leucena no Agreste do Estado de Pernambuco. **Brasil Florestal**, Brasília, v. 20, n. 72, p. 37-45, 2001.

RIBEIRO, P.G. **Utilização de técnicas não destrutivas para caracterização de madeira de *Pinus caribaea* Var. *hondurensis* e de *Eucalyptus grandis***. 2009. 114 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

ROCHA, J.S. **A segurança de estruturas de madeira determinada a partir da variabilidade da densidade básica e de propriedades mecânicas de madeiras amazônicas**. 1994. 160 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1994.

ROCHA, S.J.; PAULA, E.V.C.M. de; SIQUEIRA, M.L. Flexão estática em amostras livres de defeitos. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 18, n. 2, p. 147–162, jun.1988.

SANTOS, J.A. **Estudo de modelos e caracterização do comportamento mecânico da madeira**. 2007. 300 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade do Minho, Guimarães, 2007.

SCANAVACA JR., L.; GARCIA, J.N. Determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 65, p. 120-129, 2004.

SCHACHT, L.; GARCIA, J.N.; VENCOSKY, R. Variação genética de indicadores de tensão de crescimento em clones de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 54, p. 55-68, 1998.

SEIFFERT, N.F. Manejo de leguminosas forrageiras arbustivas de clima tropical. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 9., 1988, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1988. p. 285-314.

SHELTON, H.M.; LOWRY, J.B.; GUTTERIDGE, R.A.; BRAY, R.A.; WILDIN, J.H. Sustaining productive pastures in the tropics. 7. Tree and shrub legumes in improved pastures. **Tropical Grasslands**, Brisbane, v. 25, p. 119-128, 1991.

SKAAR, C. **Water in wood**. Syracuse: Syracuse University Press, 1972. 218 p.

TURNBULL, J.W.; PRYOR, I.D. Choice of species and seed sources. In: HILLIS, W.E.; BROWN, A.G. **Eucalyptus for wood production**. Sidney: CSIRO: Academic Press, 1984. cap. 2, p. 6-65.

WALLIS, N.K. **Australian timber handbook**. Sidney: Halstead Press, 1970. 340 p.

WEE, K.L.; WANG, S.S. Effect of post-harvest treatment on the degradation of mimosine in *Leucaena leucocephala* leaves. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 39, p. 195-201, 1987. Disponível em: <<http://scholar.google.com.br/scholar?q=Effect%20of%20post-harvest%20treatment%20on%20the%20degradation%20of%20mimosine%20in%20Leucaena%20leucocephala%20leaves>>. Acesso em: 08 out. 2011.

ZANGIACOMO, A.L.; CHRISTOFORO, A.L.; LAHR, F.A.R. Avaliação do módulo de elasticidade de peças estruturais roliças e de corpos de prova de *Pinus elliottii*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 98, p. 283-291, jun. 2013.

ZENID, G.J. Classificação de madeira serrada de eucalipto: proposta ABPM/IPT. In: SEMINÁRIO SOBRE PROCESSAMENTO E UTILIZAÇÃO DE MADEIRAS DE REFLORESTAMENTO, 1996, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ABPM, 1996. p. 91-96.

_____. (Coord.). **Madeira: uso sustentável na construção civil**. 2. ed. São Paulo: IPT; SVMA, 2009. 99 p. (IPT. Publicação, 3010).

ZHANG, S.Y. Mechanical properties in relation to specific gravity in 342 Chinese woods. **Wood and Fiber Science**, Champenoux, v. 26, n. 4, p. 512-526, 1994.