

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

LORENZO LUBE DOS SANTOS

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DA MADEIRA JUVENIL DE
Tectona grandis L.f. VISANDO A PRODUÇÃO DE MÓVEIS

JERÔNIMO MONTEIRO
ESPÍRITO SANTO
2010

LORENZO LUBE DOS SANTOS

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DA MADEIRA JUVENIL DE
Tectona grandis L.f. VISANDO A PRODUÇÃO DE MÓVEIS

Monografia apresentada ao
Departamento de Engenharia
Florestal da Universidade Federal
do Espírito Santo, como requisito
parcial para obtenção do título de
Engenheiro Industrial Madeireiro.

JERÔNIMO MONTEIRO
ESPÍRITO SANTO
2010

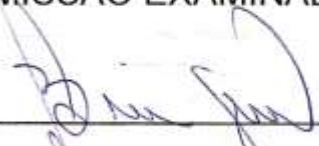
LORENZO LUBE DOS SANTOS

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DA MADEIRA JUVENIL DE
Tectona grandis L.f. VISANDO A PRODUÇÃO DE MÓVEIS

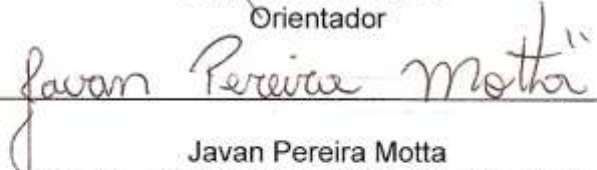
Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Industrial Madeireiro.

Aprovada em 19 de Novembro de 2010.

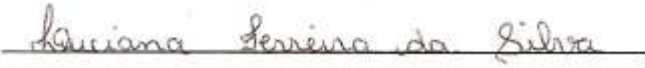
COMISSÃO EXAMINADORA



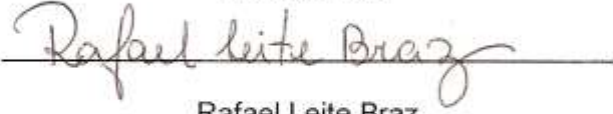
Juarez Benigno Paes
DEF – CCA – UFES
Orientador



Javan Pereira Motta
Eng. Florestal, Mestrando em Ciências Florestais - UFES
Examinador



Luciana Ferreira da Silva
Eng. Agrônoma, Mestranda em Ciências Florestais - UFES
Examinadora



Rafael Leite Braz
Eng. Florestal, Mestrando em Ciências Florestais - UFES
Examinador

A Catarina, Marcos e Otávio.
Afetuosamente dedico.

A persistência é o caminho do êxito.
Charles Chaplin

No que diz respeito ao empenho, ao compromisso, ao esforço e a dedicação, não
existe meio termo. Ou se faz uma coisa bem feita ou não se faz.
Ayrton Senna

AGRADECIMENTOS

A Deus.

A Universidade Federal do Espírito Santo, pela oportunidade de estar em uma instituição conceituada.

Aos meus pais Catarina e Marcos, pela educação e amor incondicional.

Ao meu irmão Otávio, pelos exemplos contínuos, pelo apoio nas horas difíceis e pela calorosa presença nas boas horas.

Ao professor Juarez Benigno Paes pela disponibilidade, dedicação, confiança e paciência de ensinar, sem a qual nada seria aprendido.

A minha co-orientadora e conselheira, Ana Aparecida Barbosa, pelos ensinamentos e conselhos.

Ao Dr. Maurício e à família Wernersbach, pela concessão da madeira que se tornou objeto deste trabalho.

Aos amigos e colaboradores Elecir Constantino, Javan Motta, José Braga, José Geraldo, Luciana Silva, Rafael Braz e Rafael Rosa, pela presença e ajuda nos trabalhos.

Aos demais professores e funcionários do NEDTEC.

E a turma de Engenharia Industrial Madeireira 2006/2 pelos anos de convivência e amizade.

RESUMO

Esta pesquisa teve como principal objetivo caracterizar tecnologicamente a madeira de *Tectona grandis* L.f. (teca) obtida nos desbastes, para avaliar sua potencialidade na confecção de móveis. Para isto foram empregadas madeiras de árvores com idade aproximada de sete anos, retiradas de um plantio no município de Guarapari – ES. Os corpos de prova analisados apresentaram densidade básica média de 0,45 g/cm³ e contrações médias radial, tangencial e volumétrica de 2,72, 6,17 e 9.84 %, com coeficiente de anisotropia de 2,22. Quanto à resistência mecânica pode-se afirmar que os valores obtidos seguem uma regularidade e que esta madeira pode ser utilizada perfeitamente na confecção de móveis de pequenas dimensões. Quanto a resistência cupins de madeira seca (*Cryptotermes* sp.) foi classificada como de resistência moderada. A madeira de teca jovem apresentou fácil usinagem, trabalhabilidade e acabamento. A mesa confeccionada atende as características estéticas e de acabamento desejadas, agregando valor ao produto considerado, atualmente, um resíduo e empregado para finalidades menos nobres.

Palavras chave: Madeira, desbaste, propriedades físico mecânicas, cupins de madeira seca, móveis.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 O problema e sua importância	1
1.2 Objetivos	2
1.2.1 Objetivo geral	2
1.2.1 Objetivos específicos	2
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Características da espécie estudada	3
2.2 Propriedades físicas da madeira	5
2.3 Propriedades mecânicas da madeira	6
2.4 Resistência natural da madeira	7
3. METODOLOGIA	9
3.1 Procedências, coleta e amostragem da madeira	9
3.2 Densidade básica das árvores	11
3.3 Densidade básica da madeira	12
3.4 Retratibilidade da madeira	13
3.5 Resistência mecânica da madeira	14
3.6 Resistência natural a cupins de madeira seca	15
3.7 Confeção de uma mesa	16
4. RESULTADOS DA PESQUISA	18
4.1 Ensaio físicos da madeira	18
4.1.1 Densidade da árvore e da madeira	18
4.1.2 Retratibilidade da madeira	19
4.2 Ensaio mecânicos da madeira	20
4.2.1 Ensaio de flexão estática da madeira	20
4.2.2 Ensaio de compressão paralela às fibras	21
4.3 Resistência a madeira de teca a cupins de madeira seca	22
4.4 Confeção da mesa com a madeira jovem de teca	24
5. CONCLUSÃO	25
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Identificação das toras obtidas.....	10
Tabela 02 – Mortalidade (%) dos cupins e desgaste (nota) da madeira de teca...	22

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Povoamento de teca localizado em Guarapari – ES.....	9
Figura 02 – Esquema de seccionamento das toras.....	10
Figura 03 – Corpos de prova para densidade da árvore.....	11
Figura 04 – Corpos de prova para densidade da madeira.....	13
Figura 05 – Direcionamento dos corpos de prova no ensaio de flexão estática....	14
Figura 06 – Ensaio de alimentação forçada de cupins do gênero <i>Cryptotermes</i> <i>sp.</i>	16
Figura 07 – Densidade básica da árvore.....	18
Figura 08 – Densidade básica da madeira.....	19
Figura 09 – Corpos de prova de flexão estática ensaiados.....	21
Figura 10 – Corpos de prova de compressão paralela às fibras ensaiados.....	22
Figura 11 – Arranjo dos corpos de prova e desgaste provocado pelos cupins de madeira seca.....	23
Figura 12 – Mesa confeccionada com a madeira juvenil de teca.....	24

1. INTRODUÇÃO

A madeira de teca, da família Verbenaceae, é nativa do Sudeste Asiático e foi introduzida no Brasil na década de 1960 em Cárceres – MT. Os valores pagos pela teca no Brasil chegam a superar o de espécies nativas como o mogno (*Swietenia macrophylla* King.). A teca é considerada uma das madeiras mais valiosas do mundo em função de suas boas características físico-mecânicas e funcionais, além da sua facilidade de ser cultivada e manejada em povoamentos florestais.

Trata-se de uma madeira leve a moderadamente pesada, de dureza média, alta estabilidade dimensional, fácil trabalhabilidade, boa resistência mecânica e de grande variabilidade de uso.

Sua aplicação mais conhecida é na construção naval, por resistir bem aos efeitos da umidade, do calor intenso e ao ataque de brocas marinhas, sendo também utilizada em ambientes externos, como em portas, janelas e decks. A sua aplicação na marcenaria é bem aceita por causa de suas boas características estéticas e de acabamentos.

Particularmente no Brasil, a teca é cultivada em povoamentos florestais e tem um ciclo aproximado de 25 anos para obter valores significativos no mercado consumidor. As práticas de desbaste são constantes nos povoamentos e a maioria das árvores cortadas nestas etapas é subutilizada em produtos de baixo valor agregado, como estacas, moirões e lenha, ou se tornam resíduo do processo sendo abandonadas nos povoamentos, onde são biodeterioradas.

O produto dos desbastes, apesar de obter limitações como baixa classe diametral e alto índice de madeira juvenil, poderia ser utilizado em objetos de maior valor agregado, como na confecção de pequenos objetos de madeira, na indústria de lápis e na confecção móveis de menores dimensões.

1.1 O problema e sua importância

Para a confecção de móveis, os desafios a serem superados são a baixa resistência mecânica de madeiras juvenis, os defeitos apresentados neste tipo de madeira assim como a baixa resistência da madeira de alburno ao ataque de

agentes xilófagos, como isópteros (térmitas ou cupins) e coleópteros (besouros ou brocas de madeira).

As características da madeira jovem de teca podem gerar informações que venham a contribuir para o seu aproveitamento e promover técnicas gerais que agreguem valores a um produto que vem sendo desperdiçado ou subempregado.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho foi realizar ensaios físicos, mecânicos e de ataques biológicos para caracterizar tecnologicamente a madeira jovem de teca.

1.2.1 Objetivos específicos

- Determinar a densidade da madeira de teca;
- Avaliar a resistência a esforços em flexão estática e compressão paralela às fibras;
- Testar a resistência natural da madeira de teca a cupins de madeira seca;
- Analisar a madeira juvenil de teca quanto à secagem, usinagem e trabalhabilidade; e
- Confeccionar um móvel com a madeira em estudo e avaliar a confecção de produtos colados.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Características da espécie estudada

A teca, conhecida internacionalmente como *teak*, pertencente à família Verbenaceae, é uma espécie de ocorrência natural do Centro e Sul da Índia, Mianmar, Norte da Tailândia e Laos, que atinge cerca de 35 m de altura e 100 cm de diâmetro a altura do peito (DAP), medido a 1,30 m do solo. No Brasil, esta espécie foi introduzida no final da década de 1960 em Cárceres - MT, onde as características climáticas são semelhantes àsquelas dos países de origem, agregando solos de melhor qualidade, o que reduziu o ciclo natural de 80 para 25 anos (TSUKAMOTO FILHO et al., 2003).

A literatura não cita análises ou desenvolvimento da espécie no Estado do Espírito Santo. Porém, constatou-se a presença de pequenos plantios em algumas propriedades, com destaque para os municípios de São Roque e Sooretama, onde a teca vem sendo cultivada em consórcio com a lavoura cafeeira.

Segundo Leite et al. (2006), a teca é uma madeira de ótima qualidade, com boas propriedades físico-mecânicas e grande variabilidade de uso, sendo muito utilizada na construção naval e na produção de móveis finos. Seu valor comercial pode superar o de espécies como o mogno (*Swietenia macrophylla*), que chega a custar US\$ 1500/m³ no mercado internacional (FIGUEREIDO; OLIVEIRA e SCOLFORO, 2005).

Tendo em vista o alto valor comercial e as características que a teca apresenta, é necessário o seu melhor aproveitamento, reduzindo ao máximo a geração de resíduos e as perdas tanto nos processos silviculturais, desde a colheita até o processamento.

Segundo Nolasco (2000), os resíduos podem ser caracterizados de acordo com a origem, tipo, fatores geradores, quantidade, composição, características físicas, sazonalidade, dispersão espacial e formas de manejo. Sendo os resíduos da colheita florestal compostos por galhos, copa, casca, raiz, árvores mortas, árvores abatidas desnecessariamente, cepas e cipós.

Figueiredo; Oliveira e Scolforo (2005) concluíram que povoamentos de teca conduzidos sem desbastes se mostraram menos rentáveis que os povoamentos

desbastados. O produto dos desbastes iniciais normalmente é considerado como resíduo ou é transformado em subprodutos com baixo valor agregado, como no uso em escoras para construção civil, estacas, moirões e produção de lenha ou carvão para energia, fato explicado pela grande quantidade da árvore ser formada por lenho juvenil, considerado de qualidade inferior à madeira adulta. O baixo custo destes subprodutos não inviabiliza povoamentos desbastados, mas um melhor aproveitamento desta madeira se torna econômico e ambientalmente interessante.

Segundo Klock (2000), a madeira juvenil é aquela que está compreendida dentro dos primeiros anéis anuais da árvore, ou àquela que está mais próxima da medula da mesma. A demarcação desta madeira não é clara, mas levando em conta a pequena classe diametral, a pouca idade e o fator de rápido crescimento, é possível afirmar que o produto dos desbastes iniciais da teca é formado em sua maioria por tecido jovem.

Ao analisar economicamente, o valor pago pela madeira de teca, em toras com variações de diâmetro entre 10 e 18 cm na região de Baixo Rio Acre, foi de R\$ 30,00 a R\$ 54,00, no ano de 2003, enquanto o valor pago pela mesma madeira com diâmetro variando de 18 a 35 cm foi de R\$ 411,75 a R\$ 656,50, podendo chegar a R\$ 2.626,00 pela madeira serrada, segundo Custode citado por Figueiredo; Oliveira e Scolforo (2005). Uma vez que os valores pagos pela madeira obedecem à balança comercial e podem variar de acordo com alterações no mercado, fica evidente a importância de agregar valor a madeiras juvenis de desbaste e com pequenos diâmetros, que poderiam ser utilizadas na produção de vários artefatos.

O aproveitamento dos resíduos da exploração florestal pode gerar lucros e a degradação ambiental é amenizada, pois a proporção de florestas cortadas desnecessariamente é reduzida. Segundo Uliana (2005), ações como o manejo e certificação florestal também contribuem para a redução dos impactos da exploração, com o aumento do rendimento, da rentabilidade e redução da geração de resíduos na colheita.

Tendo em vista a caracterização da madeira juvenil de teca para que haja um melhor aproveitamento desta e uma maior agregação de valores, se torna importante avaliar algumas propriedades para a confecção de móveis. Segundo Tsoumis (1991), a massa específica, a retratibilidade e a resistência a esforços de flexão estática (Módulo de Elasticidades - MOE e Módulo de Ruptura - MOR) são considerados os mais importantes parâmetros para avaliar a madeira sólida.

2.2 Propriedades físicas da madeira

As propriedades físicas mais estudadas por serem as mais importantes e por pré-estabelecerem um conhecimento prévio da madeira são a retratibilidade e a densidade básica.

A retratibilidade consiste na capacidade da madeira contrair quando exposta a variações de umidade abaixo da umidade de saturação das fibras, que varia de espécie para espécie e é a situação em que apenas as paredes celulares das células da madeira possuem umidade.

Segundo Tomazello Filho (1994), a madeira pode contrair nos sentidos longitudinal, radial e tangencial e estas contrações podem variar nos valores de 0,1 - 0,3; 2,0 - 9,0 e 4,0 - 20,0% respectivamente, com variação volumétrica de 8,0 a 26,0%.

É importante destacar o fator de anisotropia, que é obtido pelo cociente entre as contrações tangencial e radial. Este índice fornece uma idéia geral do comportamento das madeiras em sua secagem, sendo classificadas como muito estáveis aquelas cujo fator de anisotropia está abaixo de 1,4 e muito instáveis aquelas com valores acima de 3,0.

A densidade básica é definida como a relação entre a massa seca pelo seu volume saturado e na maioria das madeiras é compreendida entre 0,32 a 0,72 g/cm³, variando de acordo com cada espécie, podendo atingir valores extremos de 0,16 g/cm³ para a balsa (*Ochroma pyramidale*) e 1,04 g/cm³ para outras espécies (FPL, 2010). É importante ressaltar que a densidade é a característica tecnológica mais importante das madeiras, visto que está relacionada diretamente com as propriedades mecânicas, grau de alteração dimensional e perda ou adsorção de água.

Klock (2000) afirma que as madeiras juvenis possuem densidades inferiores e, em relação às contrações, podem apresentar contrações longitudinais superiores e tangenciais e radiais inferiores, fato explicado pela sua diferente estrutura anatômica.

2.3 Propriedades mecânicas da madeira

O conhecimento da resistência mecânica da madeira é preponderante no projeto de estruturas de madeira. A aceitação da madeira para execução da estrutura fica subordinada à conformidade de suas propriedades de resistência aos valores especificados no projeto, conforme consta da Norma Brasileira Regulamentadora - NBR 7190 da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (1997).

Segundo Calil Junior (1998), as propriedades mecânicas são responsáveis pela resposta da madeira quando solicitada por forças externas. No caso de estruturas de móveis, a determinação das propriedades mecânicas da madeira assume importância direta na segurança e na resistência do móvel.

A elasticidade é a capacidade do material de retornar ao seu estado inicial, depois de submetido à ação de cargas externas, sem apresentação de deformação residual. O principal valor a ser obtido será o módulo de elasticidade (MOE). Segundo Klock (2000), embora o módulo de elasticidade não ofereça informações completas e reais sobre o comportamento de um determinado material, pode-se concluir que valores altos de MOE indicam alta resistência e baixa capacidade de deformação do material, qualificando-o para fins construtivos.

O módulo de elasticidade é de grande importância no dimensionamento de peças sujeitas aos esforços de flexão ou de compressão em colunas longas. Sendo a densidade da madeira a principal característica física relacionada à resistência à compressão.

Em relação à madeira juvenil, Klock (2000) afirma que a mesma apresenta menor resistência mecânica, fato explicado pela menor densidade e pelas diferenças anatômicas.

Para a determinação das propriedades mecânicas da madeira são executados ensaios padronizados em amostras sem defeitos, os quais podem seguir os parâmetros do Método Brasileiro, de ensaios físicos e mecânicos, MB26 da ABNT (1940).

2.4 Resistência natural da madeira

O conhecimento da resistência natural da madeira é de suma importância para que se possa recomendar seu emprego mais adequado, evitar gastos desnecessários com a reposição de peças deterioradas e reduzir os impactos sobre as florestas remanescentes (PAES; MORAIS e LIMA, 2004).

Uma vez que as madeiras juvenis têm menor resistência natural ao ataque de organismos que se alimentam da madeira (xilófagos), fato explicado por causa do baixo teor de extrativos existente na madeira jovem, é necessário o estudo desses organismos e de tratamentos profiláticos para que estas madeiras sejam aptas para a produção de móveis.

Um dos principais organismos xilófagos são os insetos, os quais são classificados em ordens sendo a mais importante a Isóptera (térmitas ou cupins). Dentre os térmitas, conforme os hábitos de vida, são distinguidos três grupos: cupins de madeira úmida; cupins de solo ou subterrâneos; e cupins de madeira seca (ROCHA, 2001). Os cupins são insetos sociais, organizados em castas, divididas em operários, soldados, e reprodutores (rei e rainha). Dentre os insetos xilófagos, os cupins são os responsáveis pelos maiores danos causados à madeira (PAES; VITAL, 2000).

Um detalhe a ser considerado é que os móveis, principalmente no interior das residências, são produzidos com madeira seca e esta permanece na umidade do ambiente em que está condicionada, logo, a principal forma de ataque seria pelos cupins de madeira seca.

Os cupins de madeira seca vivem em regiões subtropicais e de clima quente, em madeiras de baixa umidade. Infestam a madeira durante a revoada, penetrando em rachaduras ou aberturas naturais que a seguir são fechadas pelos próprios insetos. Ocasionalmente, provocam orifícios na madeira onde são liberados detritos, que diferenciam o ataque causado por outros insetos. A principal espécie de ocorrência no Brasil é a *Cryptotermes brevis*, da família Kalotermitidae, que ataca a madeira em busca de alimento e pode provocar grandes danos à mobília, madeiramento estrutural e bibliotecas (ROCHA, 2001).

A principal forma de evitar ataques é o tratamento da madeira, uma vez que, quando atacada, a substituição das peças de madeira é inevitável. O estudo dos

produtos preservantes aplicados deve ser realizado de acordo com o uso final da madeira. Segundo Rocha (2001), é desejável que os produtos tenham ação duradoura e boa fixação, além de não alterarem as características da madeira, não provocarem alterações em outros materiais utilizados em contato com a madeira tratada, não serem inflamáveis, oferecerem toxidez apenas aos organismos xilófagos e serem de fácil aquisição e baixo valor econômico.

3. METODOLOGIA

3.1 Procedências, coleta e amostragem da madeira

A madeira utilizada neste estudo foi proveniente de um povoamento florestal de teca, já desbastado, com idade entre seis a sete anos, localizado no município de Guarapari, Estado do Espírito Santo. O local apresenta clima quente e úmido e a plantação foi consorciada com o plantio de café.

No local foram abatidas, com auxílio de um motosserra, três árvores que se encontravam próximas umas das outras (pouco espaçadas de outras árvores remanescentes no povoamento). Na Figura 01, é mostrado o povoamento e os espaçamentos das árvores.



Figura 01 – Povoamento de teca localizado em Guarapari – ES.

Fonte – Arquivo pessoal do autor.

As árvores abatidas foram seccionadas em quatro partes de 1,60 m de comprimento, até a altura comercial considerada (diâmetro de 12 cm) (Figura 02). As toras foram identificadas e numeradas convenientemente (Tabela 01).

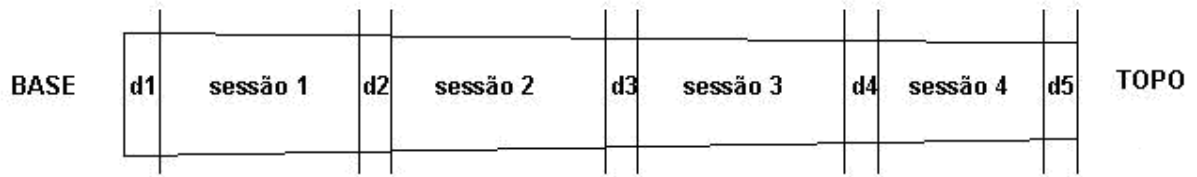


Figura 02 – Esquema de seccionamento das toras.

Fonte: Desenvolvida pelo autor.

Tabela 01 – Identificação das toras obtidas

Árvore	Seção	Identificação
1	1	11
	2	12
	3	13
	4	14
2	1	21
	2	22
	3	23
	4	24
3	1	31
	2	32
	3	33
	4	34

Fonte: Desenvolvida pelo autor.

O fuste aproveitado de cada árvore foi de aproximadamente 65% do seu total, os outros 35%, por possuir diâmetro inferior a 12 cm, tortuosidades e incidência de nós, não foram aproveitados neste trabalho, mas poderiam ser utilizados na confecção de pequenos objetos de madeira ou até mesmo serem destinados para a produção de energia como lenha ou carvão. As copas das árvores, formada por os galhos e folhas, por ser importantes para a ciclagem de nutrientes, foram deixadas no próprio povoamento.

Do fuste aproveitado de cada árvore foram retirados, com ajuda de uma serra circular destopadeira, cinco discos para a confecção de corpos de prova para os ensaios de densidade da madeira.

A seção 1 foi destinada a confecção de corpos de prova para ensaio de resistência a cupins de madeira seca e de tábuas para um tampo de mesa. A seção

2 para a confecção de corpos de prova para os ensaios de retratibilidade, densidade básica e de resistência mecânica (compressão paralela às fibras e flexão estática). As seções 3 e 4 foram destinadas à produção de pés e travessas da mesa confeccionada.

3.2 Densidade básica – Método 1

Das extremidades de cada seção foram retirados discos de 3 cm de altura, gerando 5 discos para cada árvore, que foram destinados a determinação da densidade básica das árvores, conforme metodologia descrita por Vital (1984), neste trabalho descrito como Método 1.

Para a determinação da densidade básica, os discos foram subdivididos em quatro quadrantes (cunhas), ao serem traçadas duas linhas diamétricas perpendiculares com encontro na medula de cada disco (Figura 03). Duas destas cunhas, localizadas em sentidos opostos, foram saturadas com água durante nove dias e posteriormente em um dissecador, sob vácuo de 650 mmHg, durante vinte dias.



Figura 03 – Corpos de prova para densidade da árvore.

Fonte – Arquivo pessoal do autor.

Depois de retiradas do dissecador, as cunhas tiveram seus volumes saturados medidos por deslocamento de água (VITAL, 1984) em uma balança com precisão de 0,01g. Em seguida, as cunhas foram secas ao ar durante três dias e conduzidas a uma estufa mantida a $103 \pm 2^\circ \text{ C}$ até que adquirissem massas constantes e determinada a densidade básica das árvores, pelo emprego da Equação 1.

$$D_{BA} = \frac{\sum_{i=0}^n Ms_i}{\sum_{i=0}^n Vu_i} \quad (1)$$

em que:

D_{BA} = Densidade básica média pelo Método 1 (g/cm^3);

Ms_i = Massa seca da amostra (g);

Vu_i = Volume saturado da amostra (cm^3).

3.3 Densidade básica – Método 2

Em função do diâmetro das toras, se encontrou dificuldades na retirada de corpos de prova orientados, o que inutilizou boa parte da madeira da seção 2. Mesmo assim, foram confeccionados vinte corpos de prova das seções 12, 22 e 32 (Tabela 1) com dimensões de 2 x 2 x 3 cm conforme preconizado pelo MB 26 da ABNT (1940), neste trabalho descrito como Método 2 (Figura 04).

As amostras obtidas foram encharcadas e tomadas seus volumes por deslocamento de água. Foram secas em estufa, mantida a $103 \pm 2^\circ \text{ C}$, até que adquirissem massas constantes e pesadas em balança com precisão de 0,01g. De posse da massa seca e do volume saturado dos corpos de prova, foi calculada a densidade básica da madeira, com o emprego da Equação 2.

$$D_{BM} = \frac{Ms}{Vu} \quad (2)$$

em que:

D_{BM} = Densidade básica pelo Método 2 (g/cm^3);

Ms = Massa seca da amostra (g);

Vu = Volume saturado da amostra (cm^3).



Figura 04 – Corpos de prova para densidade da madeira.

Fonte – Arquivo pessoal do autor.

3.4 Retratibilidade da madeira

Para a retratibilidade foram utilizados os mesmos vinte corpos de prova das sessões 12, 22 e 32 (Tabela 01) com dimensões de 2 x 2 x 3 cm (Figura 04), conforme preconizado pelo MB 26 da ABNT (1940), confeccionados para verificação da densidade básica pelo Método 2. Para possibilitar que as medições fossem realizadas sempre em um mesmo ponto, nos corpos de prova foram traçadas duas diagonais em cada face da amostra, como pode ser observado na Figura 04. As amostras foram pesadas e tiveram suas dimensões nos sentidos radiais, tangenciais e longitudinais tomadas com auxílio de um micrômetro, com precisão de 0,0001mm e postas em dissecador e mantidas sob vácuo de 650 mmHg, durante 96 horas. Depois de saturadas, tiveram seu volume, massa e dimensões medidos, conforme já descrito, e foram transferidas para estufa em que foram elevadas a temperatura de 40, 60, 80, $103 \pm 2^{\circ}$ C, a cada 24 horas. Posteriormente, as amostras foram pesadas e tiveram suas dimensões mensuradas, conforme já descrito, e assim foi calculada a contração das mesmas, nos sentidos radiais, tangenciais, longitudinais e a volumétrica.

3.5 Resistência mecânica da madeira

Para a avaliação da resistência mecânica da madeira juvenil de teca foram realizados ensaios para a determinação da resistência a compressão paralela às fibras e de flexão estática.

Para a determinação da resistência a compressão paralela às fibras foram confeccionados 15 corpos de prova das sessões 12, 22 e 32 (Tabela 01) com dimensões de 2 x 2 x 3 cm, conforme preconizado pelo MB 26 da ABNT (1940).

Os corpos de prova foram ensaiados em uma máquina universal de ensaios mecânicos (EMIC 10000), sendo a força aplicada até a ruptura dos corpos, tendo a tensão máxima, MOE e MOR sido encontrados. A umidade dos corpos de prova foi determinada, conforme metodologia descrita pela NBR 7190 da ABNT (1997).

Para o ensaio de flexão estática, foram confeccionados 30 corpos de prova das sessões 12, 22 e 32 (Tabela 1) com dimensões de 2 x 2 x 30 cm sendo a maior direção no sentido das fibras, conforme preconizado pelo MB 26 da ABNT (1940). Os corpos de prova foram confeccionados de forma que seus planos de orientação estivessem nos sentidos radiais e tangenciais, como apresentado na Figura 05, tendo 15 corpos de prova sido ensaiados no sentido radial e 15 no tangencial.

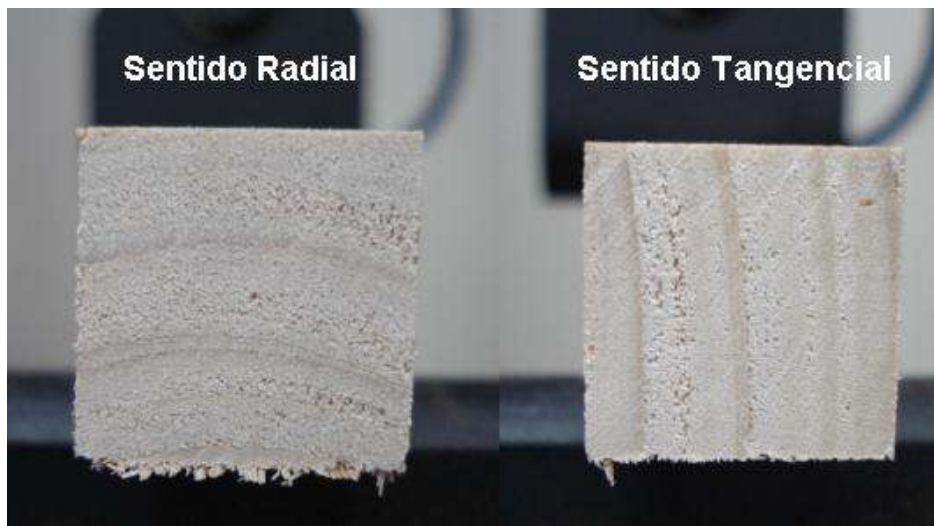


Figura 05 – Direcionamento dos corpos de prova no ensaio de flexão estática.

Fonte – Arquivo pessoal do autor.

3.6 Resistência natural a cupins de madeira seca

Para a realização do ensaio, foram confeccionados 36 corpos de prova das seções 11, 21 e 31, com dimensões de 2,3 x 0,6 x 7,0 cm (radial x tangencial x longitudinal), e o ensaio de resistência a cupins de madeira seca da Família Kalotermitidae (*Cryptotermes* sp.), conforme metodologia de alimentação forçada de cupins do gênero *Cryptotermes* sp. proposta pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT/DIMAD D - 2 (1980).

Os corpos de prova foram secos em estufa durante 48 horas e pesados, para análise de perda de massa. Dos 36 corpos de prova, 18 foram provenientes de cerne e 18 de alburno, dos quais 12 foram agrupados dois a dois apenas com madeira de cerne, 12 foram agrupados com madeira de alburno e os 12 restantes com e madeira de alburno e cerne.

Depois de agrupados, foi fixada com parafina uma luva de vidro de diâmetro de 3,5 cm e altura de 8,0 cm. Dentro da luva foram introduzidos 40 cupins, sendo 39 operários e um soldado. Cada conjunto de dois corpos de prova foi introduzido em uma placa de Petri para evitar a fuga dos cupins.

Ao término de 45 dias, os cupins restantes foram retirados e novamente contados para avaliar a porcentagem de mortalidade dos mesmos, conforme descrito pela “American Society for Testing and Materials” (ASTM D 3345, 2005), os corpos de prova foram avaliados por um critério subjetivo para a avaliação do desgaste, conforme metodologia proposta pelo IPT/DIMAD D – 2 (1980) e secos em estufa, sob as condições já descritas e novamente pesados para avaliar a porcentagem de perda de massa. Ensaio montado em ambiente de laboratório na véspera de ser retirado e examinado o ataque dos cupins (Figura 06).



Figura 06 – Ensaio de alimentação forçada de cupins do gênero *Cryptotermes* sp..
Fonte – Arquivo pessoal do autor.

3.7 Confeção de uma mesa

Para a confecção da mesa foram selecionados quatro toretes, já esquadrejados, contendo menor incidência de rachaduras para a confecção dos pés, que foram cortados em comprimento de 80 cm e usinados na plaina e na desengrossadeira para se obter as dimensões de 6 x 6 cm. As peças passaram pela tupa e pela serra fita para outros acabamentos estéticos.

As rachaduras desenvolvidas foram cobertas com seladora e pó de lixa da própria madeira. Os furos para receber as laterais respigadas foram executados em uma furadeira de mesa. As laterais da mesa foram compostas por tábuas aplainadas numa plaina e respigadas com auxílio de uma serra circular de mesa. As medulas dos pés da mesa foram perfuradas com um parafuso e tampadas com tarugo da madeira de cerne de teca e verniz.

O tampo da mesa foi composto por tábuas aplainadas coladas lateralmente. Para a colagem foi utilizada a cola “Cascorez extra”, a base de acetato de polivinila, e introduzidos tarugos de madeira em orifícios executados na espessura das tábuas para melhor fixação e resistência.

As peças receberam acabamentos antes da montagem da mesa. Todas as partes da mesa foram lixadas, seladas com um produto químico e secas. Os pés e as laterais foram colados e fixados com pregos.

As partes componentes da mesa foram envernizadas antes da montagem definitiva da mesa, para que todos os lugares possíveis de penetração de cupins fossem protegidos pelo verniz protetor.

Para finalizar o tratamento, foi aplicada uma camada de cera sintética após a montagem da mesa.

4. RESULTADOS DA PESQUISA

As árvores 1, 2 e 3 apresentaram alturas de 10, 11 e 9 metros e diâmetros à altura do peito (DAP), medido a 1,30 m do solo, de 17,3, 17,5 e 15,2 cm, respectivamente.

Em função de atrasos no transporte e no desdobro das toras, notaram-se o desenvolvimento de rachaduras, que poderiam ser evitadas com um desdobro mais rápido e secagem controlada. No desdobro e nas práticas de corte foram avaliadas as características de corte da madeira por um marceneiro experiente, que caracterizou a madeira de dureza média ao corte e de fácil trabalhabilidade, com empenamentos leves e de ótimo acabamento na usinagem.

4.1 Ensaio físicos da madeira

4.1.1 Densidade da madeira

Foi obtida a densidade da madeira por dois métodos, sendo o Método 1 realizado com base na média aritmética dos discos retirados em posições equidistantes no tronco, tendo encontrado um valor de $0,46 \pm 0,025 \text{ g/cm}^3$. Os valores encontrados para as amostras analisadas são apresentados na Figura 07.

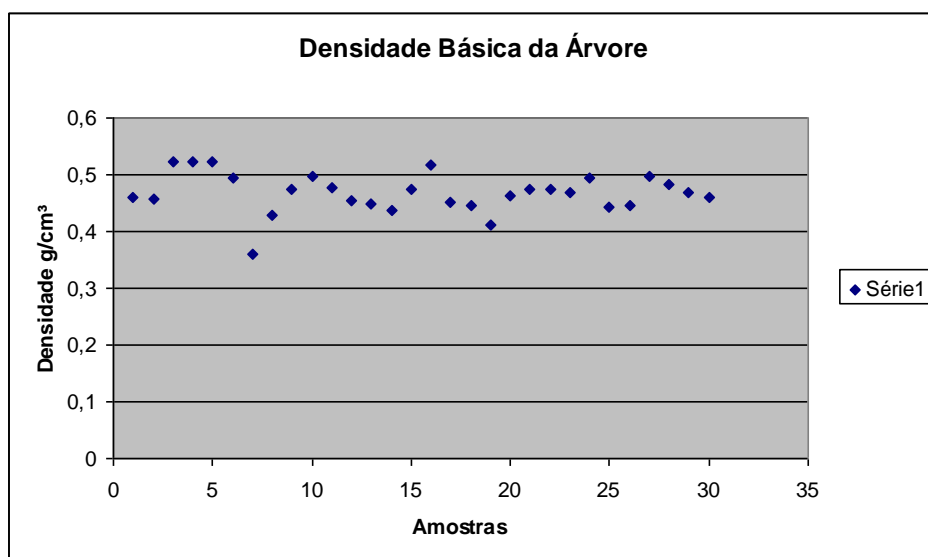


Figura 07 – Densidade básica – Método 1.

Fonte: Desenvolvida pelo autor.

A densidade básica obtida pelo Método 2 foi de $0,45 \pm 0,023 \text{ g/cm}^3$, isto demonstra que a densidade da madeira não sofre grandes variações da base para o topo para a madeira de teca juvenil, uma vez que foi ensaiada a densidade por métodos diferentes. Os resultados obtidos para o Método 2 podem ser observados na Figura 08.

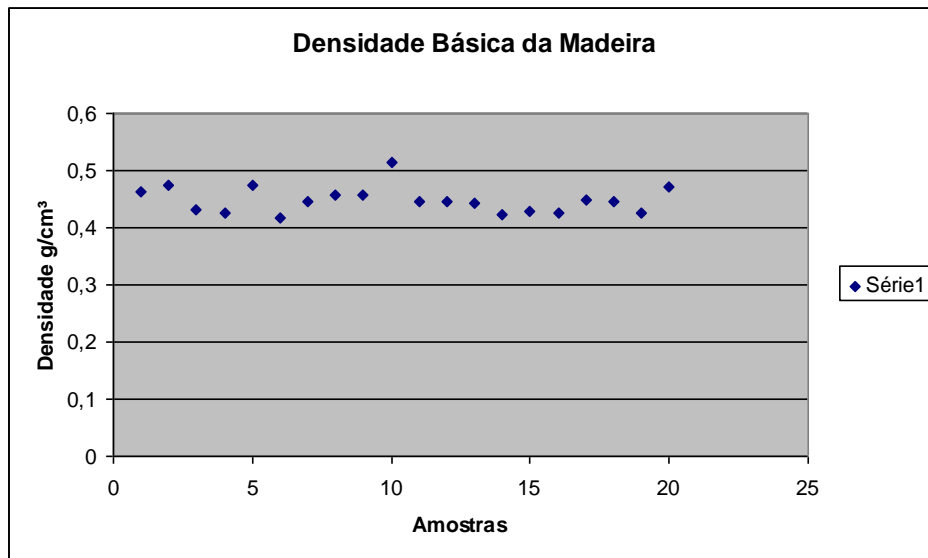


Figura 08 – Densidade básica – Método 2.

Fonte: Desenvolvida pelo autor.

Quando comparada com os dados do Forest Products Laboratory – FPL (2010), a madeira teca juvenil apresentou densidade $0,10 \text{ g/cm}^3$ inferior à madeira cultivada no Sudeste Asiático com cerca de 80 anos de idade, que foi de $0,55 \text{ g/cm}^3$.

4.1.2 Retratibilidade da madeira

Os valores médios encontrados para as contrações radiais, tangenciais e volumétricas da madeira analisada foram, respectivamente de $2,73 \pm 0,45$; $6,17 \pm 1,21$; e $9,83 \pm 1,41 \%$, sendo considerados bons, quando levado em consideração a grande quantidade de alborno presente na madeira e à própria madeira juvenil, que é mais instável que a madeira adulta. Os desvios padrões foram considerados altos, o que demonstra grande variabilidade da madeira ensaiada. O coeficiente de anisotropia foi de $2,26 \pm 0,54$, que conduz a madeira juvenil de teca à classificação de média estabilidade dimensional, entretanto o Laboratório de Produtos Florestais –

LPF (1977) classifica as madeiras com contração volumétrica inferior a 11,5% como madeiras de baixa contração.

Quando comparados com valores mencionados pelo LPF (1977), relacionados às contrações radial, tangencial e volumétrica de pesquisas feitas com madeiras do Sudeste Asiático, que foram de 2,5, 5,8 e 7,0% respectivamente, a madeira em estudo apresentou valores superiores, demonstrando mais uma vez a instabilidade maior da madeira jovem. Porém, a madeira de teca ensaiada ainda apresentou melhores valores quando comparada a várias outras espécies, como o angelim (*Andira inermis*), com 4,6, 9,8 e 12,5%, e a peroba rosa (*Aspidosperma* sp.), com 3,8, 6,4 e 11,6%, respectivamente para contrações radial, tangencial e volumétrica, muito utilizadas para a fabricação de móveis em geral. Isto indica que a madeira estudada é apta para ser empregada em móveis e em outras utilizações em que uma boa estabilidade dimensional é requerida.

4.2 Ensaio mecânicos da madeira

4.2.1 Ensaio de flexão estática da madeira

Os valores médios de MOR para flexão estática nas direções tangencial e radial foram, respectivamente, de 86,16 ($\pm 8,53$) e 88,52 ($\pm 6,19$) MPa e os valores de MOE foram de 9.054,95 ($\pm 1.178,53$) e 9.897,90 ($\pm 975,17$) MPa, para amostras com 14% de umidade.

Os valores demonstram uma pequena diferença entre as amostras testadas na direção radial e tangencial, apresentando maior resistência quando testada na direção radial.

Ao compararem os valores obtidos com aqueles do FPL (2010), para a madeira de teca do Sudeste Asiático, testada a 12% de umidade, que foram de 100,70 MPa e 10.700,00 MPa para MOR e MOE, respectivamente, observam-se que os valores encontrados para MOR e MOE foram menores, fator explicado pela grande diferença de idade das madeiras, uma vez que no Sudeste Asiático o ciclo de rotação da espécie é de 80 anos.

Mesmo sendo inferiores aos valores apresentados pelo FPL (2010), os valores encontrados estão próximos aos obtidos para as madeiras de peroba rosa,

que foram de 83,40 MPa e 10.500,00 MPa de MOR e MOE, respectivamente, a 12% de umidade.

Vale ressaltar que a resistência mecânica está diretamente ligada à densidade da madeira, tendo a madeira de teca e a de peroba rosa descrita pelo FPL (2010), apresentando densidades de 0,55 e 0,66 g/cm³, respectivamente.

Podem ser observados, na Figura 09, os corpos de prova ensaiados e suas deformações, com destaque apenas para o corpo de prova 08 que se partiu em dois. Os demais corpos de prova obtiveram ensaios normais.



Figura 09 – Corpos de prova de flexão estática ensaiados.

Fonte – Arquivo pessoal do autor.

4.2.2 Ensaio de compressão paralela às fibras

A tensão de ruptura média foi de 39,23 (\pm 3,74) MPa, para a madeira testada com 25% de umidade. Ao comparar com os valores citados pelo FPL (2010) para a madeira de teca com 80 anos, cultivada no Sudeste Asiático, testada verde, que foi de 41,1 MPa, observa-se que não houve grande diferença entre os valores, mesmo com a densidade da madeira juvenil ser inferior.

Podem ser observados, na Figura 10, os corpos de prova ensaiados e suas deformações. Todos os corpos de prova obtiveram ensaios normais.



Figura 10 – Corpos de prova de compressão paralela às fibras ensaiados.

Fonte – Arquivo pessoal do autor.

4.3 Resistência a madeira de teca a cupins de madeira seca

A perda de massa (%), mortalidade dos cupins (%) e o desgaste causado pelos cupins à madeira constam da Tabela 02.

Tabela 02 – Mortalidade (%) dos cupins e desgaste (nota) da madeira de teca

Amostras	Perda de Massa (%)	Mortalidade (%)	Desgaste (Notas)
Apenas Cerne	0,24 B	64,80 A	0,86 B
Apenas Alburno	0,93 A	55,00 A	2,44 A
Alburno e Cerne	0,69 A	61,25 A	2,08 A

Médias seguidas por uma mesma letra na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey; $p > 0,05$)

Fonte: Desenvolvida pelo autor.

Observa-se na Tabela 02 que a mortalidade dos cupins foi numericamente maior nas amostras formadas apenas de cerne, seguida por aquelas contendo amostras de cerne e alburno e, finalmente por amostras apenas de alburno. No

entanto, não houve diferença estatística entre a mortalidade dos cupins em contato com as amostras, sendo a mortalidade considerada moderada (ASTM D 3345, 2005).

O desgaste provocado pelos cupins ao cerne foi pouco expressivo, tendo diferenciado estatisticamente das demais amostras, entretanto houve um pequeno desgaste superficial que pode ser explicado pela baixa presença de extrativos no cerne das madeiras ainda jovens. O ataque ao alburno foi avaliado em dano moderado a acentuado, e nenhuma das amostras foi completamente perfurada, o que demonstra uma resistência moderada a cupins de madeira seca. Nas amostras compostas por alburno e cerne, notou-se um ataque mais acentuado no alburno, sendo o dano nestas amostras, classificado como moderado.

A perda de massa sofrida pelas amostras teve comportamento semelhante ao observado para o desgaste, significando que as notas, mesmo subjetivas, representaram bem o padrão de avaliação causado pela perda de massa.

Na Figura 11, podem ser observados os arranjos formados com os corpos de prova e o desgaste provocado pelos cupins à madeira juvenil de teca.



Figura 11 – Arranjo dos corpos de prova e desgaste provocado pelos cupins de madeira seca.

Fonte – Arquivo pessoal do autor.

4.4 Confeção da mesa com a madeira jovem de teca

A confeção de uma mesa foi a etapa final do trabalho e nela foram avaliadas as características da madeira quanto a trabalhabilidade.

Foi possível confeccionar uma mesa com a madeira coletada, tendo sido aplicadas técnica simples e de fácil execução em marcenaria. O tampo e as laterais foram colados com sucesso e a mesa, mostrada na Figura 12, recebeu com perfeição os acabamentos, o que demonstra que é possível a produção de móveis, de produtos colados e de pequenos objetos com a madeira juvenil de teca.



Figura 12 – Mesa confeccionada com a madeira juvenil de teca.

Fonte – Arquivo pessoal do autor.

5. CONCLUSÕES

As árvores de teca amostradas apresentaram alturas, diâmetros e formas semelhantes, não sendo estes, parâmetros possíveis de causarem variabilidade entre as madeiras ensaiadas.

A densidade básica tomada pelo Método 1 foi de $0,46 \pm 0,025 \text{ g/cm}^3$, demonstrando que as árvores eram homogêneas em relação à densidade, já que a densidade básica tomada pelo Método 2 foi de $0,45 \pm 0,023 \text{ g/cm}^3$. Os valores médios são inferiores ao resultado apresentado para a madeira de teca do Sudeste Asiático, com 80 anos, que foi de $0,55 \text{ g/cm}^3$.

Em função das contrações radiais, tangenciais e volumétricas, a madeira juvenil de teca pode ser considerada estável, sendo semelhante às espécies brasileiras também utilizadas para móveis, como angelim (*Andira inermis*) e peroba rosa (*Aspidosperma* sp.).

A resistência a flexão estática e a compressão paralela às fibras foram próximas as da madeira de teca cultivada no Sudeste Asiático.

A madeira em estudo apresentou pequena perda de massa e desgaste quando submetidas ao ataque de cupins de madeira seca do gênero *Cryptotermes* sp., tendo provocado nos mesmos mortalidade moderada, sendo a madeira classificada como de resistência moderada ao ataque de cupins.

A madeira juvenil de teca apresentou fácil usinagem, trabalhabilidade e acabamento, sendo apta para a confecção de pequenos móveis e outros objetos de madeira. Alternativas para o uso nobre desta madeira é a confecção de móveis escolares, de escritório e de painéis colados para a fabricação de portas e balcões para interiores.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D - 3345**: standard method for laboratory evaluation of wood and other cellulosic materials for resistance to termite. Philadelphia, 2005. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Método Brasileiro. **MB-26: Ensaios físicos e mecânicos da madeira**. Rio de Janeiro, 1940. 16p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7190**. Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997. 107p.

CALIL JÚNIOR, C. **Estruturas de madeira**. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1998. 102p.

FIGUEREIDO, E.O.; OLIVEIRA A.D.; SCOLFORO, J.R.S. Análise econômica de povoamentos não desbastados de *Tectona grandis* L.f., na microrregião do Baixo Rio Acre. **Cerne**, Lavras, v.11, n.4, p.342-253, out./dez. 2005.

FOREST PRODUCTS LABORATORY - FPL. **Wood handbook**: wood as an engineering material. Madison: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010, 508p. (General Technical Report FPL-GTR-190).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS / DIMAD. **Ensaio acelerado de laboratório da resitência natural ou madeira preservada ao ataque de termitas do gênero *Cryptotermes***. São Paulo: IPT/ DIMAD, 1980. 1p. (Publicação IPT 1157). (IPT/DIMAD D - 2).

KLOCK, U. **Qualidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* H. E. Moore**. 2000, 275 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

LABORATÓRIO DE PRODUTOS FLORESTAIS - LPF. **Madeiras da Amazônia**: características e utilização. Brasília: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA, 1997. 141p.

LEITE, H.G.; et al. Um modelo de distribuição diamétrica para povoamentos de *Tectona grandis* submetidos a desbaste. **Revista Árvore**, Viçosa, v.30, n.1, p.89-98. fev. 2006.

NOLASCO, A.M. **Resíduos da colheita e beneficiamento da caixeta – *Tabebuia cassinoides* (Lam.) DC.**: caracterização e perspectivas. 2000. 171f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

PAES, J. B.; MORAIS, V. M.; LIMA, C. R. Resistência natural de nove espécies de madeiras do semi-árido brasileiro a fungos xilófagos em condições de laboratório. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 275-282, abr. 2004.

PAES, J. B.; VITAL, B. R. Resistência natural da madeira de cinco espécies de eucalipto a cupins subterrâneos, em testes de laboratório. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 97-104, jan. 2000.

ROCHA, M.P. **Biodegradação e preservação da madeira**. Curitiba: FUPEF, 2001, v.1., 94 p.

TSUKAMOTO FILHO, A.A; et al.. Análise econômica de um plantio de teca submetido a desbastes. **Revista árvore**, Viçosa, v.27, n.4, p.487-494, ago. 2003.

TOMAZELLO FILHO, M. **Formação, anatomia, propriedades e identificação de madeiras**: notas de aula. Piracicaba, 1994.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: Structure, properties and utilization**. New York: Van Nostrand Reinold, p. 494, 1991.

ULIANA L.R; **Diagnóstico da geração de resíduos na produção de móveis**: subsídio para a gestão empresarial. 2005. 102f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

VITAL, B.R. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Viçosa: SIF, 1984. 21p. (Boletim Técnico, 1).