

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
ENGENHARIA INDUSTRIAL MADEIREIRA

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA DE ELEMENTOS
ESTRUTURAIS ROLIÇOS PERFILADOS DE AMARU**

CAIO VICTOR FERNANDES DOS SANTOS

Itapeva/SP
2013

CAIO VICTOR FERNANDES DOS SANTOS

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA DE ELEMENTOS
ESTRUTURAIS ROLIÇOS PERFILADOS DE AMARU**

Trabalho de graduação apresentado como exigência para a conclusão do curso de Engenharia Industrial Madeireira da UNESP, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", campus experimental de Itapeva.

Orientador: Prof. Dr. Julio Cesar Molina

Co-orientador: MSc. Felipe Hideoyshi Icimoto

Itapeva/SP
2013

Santos, Caio Victor Fernandes dos
S237c Caracterização físico-mecânica de elementos estruturais roliços
 perfilados de Amaru / Caio Victor Fernandes dos Santos. – – Itapeva,
 SP, 2013
 68 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Engenharia
Industrial Madeireira) - Universidade Estadual Paulista, Câmpus de
Itapeva, 2013
Orientador: Prof. Dr. Julio Cesar Molina
Co-orientador: MSc. Felipe Hideoyshi Icimoto
Banca examinadora: Prof. Dr. Alexandre Jorge Duarte de Souza;
Prof.^a Dr.^a Elen Aparecida Martines Morales
Bibliografia

1. Madeira. 2. Madeira - Testes. 3. Eucalipto. I. Título. II. Itapeva -
Curso de Engenharia Industrial Madeireira.
CDD 620.12

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS EXPERIMENTAL DE ITAPEVA

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA DE ELEMENTOS
ESTRUTURAIS ROLIÇOS PERFILADOS DE AMARU**

CAIO VICTOR FERNANDES DOS SANTOS

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO
COMO PARTE REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
GRADUADO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL MADEIREIRA

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO
DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL MADEIREIRA

Prof. Dr. Carlos Alberto Oliveira de Matos
Coordenador de Curso

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Julio Cesar Molina
Orientador – Campus Experimental de Itapeva/UNESP

Prof. Dr. Alexandre Jorge Duarte de Souza
Campus Experimental de Itapeva/UNESP

Prof^a. Dr^a. Elen Aparecida Martines Morales
Campus Experimental de Itapeva/UNESP

*Aos meus familiares e amigos, pela
dedicação, carinho, companheirismo e
amizade,*

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela minha vida, saúde e família.

Quero agradecer em especial meus pais, Aguinaldo e Josi, sem os quais eu nunca teria imaginado estar aqui. Muito obrigado pelo apoio moral e principalmente financeiro, desde o dia que me trouxeram para fazer a matrícula nesta instituição, até hoje. Agradeço também pelo privilégio de ter uma irmã linda, Bárbara, que sempre me recebe com carinho, amor e paciência.

Gostaria de deixar claro que amo muito vocês, e me espelho nas pessoas maravilhosas que são. Meu maior sonho, antes mesmo de pensar em frequentar uma Universidade, era poder um dia ser pelo menos metade do que vocês são, meus grandes exemplos.

Sou muito grato também a minha amada, Nádia Barros, pelas horas de atenção dedicadas a mim nos últimos dois anos. Companheira acima de tudo, obrigado por existir em minha vida.

Agradeço aos professores que tornaram este trabalho possível, pela confiança em mim depositada, pelos ensinamentos e pela excelente orientação, Prof. Dr. Carlito Calil Júnior e Prof. Dr. Julio Cesar Molina. E também ao meu grande amigo Felipe Hideyoshi Icimoto, pelo esforço e parceria na co-orientação do mesmo.

Agradeço aos técnicos do LaMEM, pelo auxílio na execução dos ensaios realizados nesse trabalho, de segunda a segunda, para que tudo fosse concluído em tempo hábil.

Aos meus amigos, que não são poucos, faltariam palavras para demonstrar o quanto sou grato a vocês. Colegas de turma, de faculdade, companheiros de república ou conhecidos de Itapeva, cada minuto com vocês, nesses anos de convivência, me tornaram uma pessoa madura e preparada para a vida.

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Itapeva, representada por seus professores e funcionários, agradeço pelo suporte, prontidão nos esclarecimentos, e disponibilidade de serviços e tecnologias a mim oferecidas durante estes longos anos de curso.

Além de agradecer, prometo fazer tudo que estiver ao meu alcance para ser um ótimo profissional e ajudar no que for possível. Hoje, estou pronto para a próxima fase da minha vida, Engenheiro Industrial Madeireiro, com muito orgulho.

Mais uma vez, Obrigado!

*"Obstáculos são aqueles perigos que você vê
quando tira os olhos de seu objetivo."*

Henry Ford

RESUMO

O estudo das propriedades físico-mecânicas da madeira é essencial para sua utilização estrutural, e de suma importância para a construção civil. Desse modo, este trabalho teve como objetivo determinar as propriedades físicas e mecânicas da madeira *Amaru* - um híbrido de Eucalipto, desenvolvido pela empresa Plantar Empreendimentos e Produtos Florestais Ltda. Para tanto, foram utilizadas amostras roliças fornecidas ao Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeira da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo – LaMEM/EESC - USP. Para a caracterização das propriedades físicas, determinou-se a massa específica aparente e o teor de umidade das amostras. Para a caracterização mecânica foram avaliadas as seguintes propriedades: resistência e rigidez na compressão paralela às fibras, resistência e rigidez na flexão estática, resistência ao cisalhamento e resistência à tração. Os procedimentos dos ensaios realizados neste trabalho foram feitos de acordo com as recomendações da norma brasileira de madeiras ABNT NBR 7190:1997. Os corpos de prova utilizados foram confeccionados em dimensões reais conforme aqueles utilizados no sistema construtivo proposto pela empresa Plantar. A classificação visual foi importante para fornecer uma ideia preliminar sobre os modos de ruptura a serem obtidos a partir dos ensaios realizados. O ensaio de flexão evidenciou o Módulo de Elasticidade (MOE) e o Módulo de Ruptura (MOR), que resultaram em 15822 MPa e 101,7 MPa, respectivamente. O ensaio de compressão, forneceu os valores de $E_{c0,m}$ e f_{c0} , 15698 MPa e 50,7 MPa. A resistência à tração (f_{t0}) do referido híbrido foi de 60,8 MPa. E a resistência ao cisalhamento (f_{v0}) foi de 8,2 MPa. Os resultados obtidos mostraram uma boa concordância com os resultados fornecidos pela ABNT NBR 7190:1997 no que se refere aos ensaios dos corpos de prova. Os ensaios de flexão estática não mostraram uma boa concordância mas podem ser melhorados. A partir dos ensaios realizados, os resultados podem ser usado como base para que engenheiros e arquitetos projetem estruturas de madeira usando a espécie *Amaru*.

Palavras-chave: Resistência, Rigidez, Caracterização, Classificação Visual, *Amaru*.

ABSTRACT

The study of physical and mechanical properties of wood is essential for its structural use and it is of great importance to the construction industry. Thus, this study aimed to determine the physical and mechanical properties of the wood *Amaru* - a hybrid of *Eucalyptus*, developed by Plantar Projects and Forest Products Ltda. In order to determine the properties of *Amaru*, round samples were used, which were provided to the Laboratory of Wood and Wooden Structures of the School of Engineering of São Carlos, University of São Paulo - LaMEM / EESC / USP. For the characterization of the physical properties, the apparent specific gravity and moisture content of the samples were determined. To the mechanical characterization, the following properties were evaluated: strength and stiffness in compression, strength and stiffness in bending, shear and tension. The procedures of the tests performed in this study were done according to the recommendations of the Brazilian Wood Standard ABNT NBR 7190:1997. The specimen used were confectioned in actual dimensions, according to as those used in the construction system proposed by Plantar. The results obtained from the tests performed showed that the mechanical properties approached the values proposed by the Wood Standard NBR 7190. The visual grading was important to provide a primary idea about the failure modes to be obtained from the tests performed. The bending test showed the modulus of elasticity (MOE) and Modulus of Rupture (MOR), which resulted in 15822 MPa and 101,7 MPa, respectively. The compression test resulted in values $E_{c0,m}$ and f_{c0} , 15698 MPa and 50,7 MPa. The tensile strength (f_{t0}) of this hybrid was calculated and its value obtained was 60,8 MPa. The shear strength (f_{v0}) was 8,2 MPa. The results obtained from the tests are the basis for engineers and architects to design structures using wood species *Amaru*.

Keywords: Strength, Stiffness, Characterization, Visual Classification, *Amaru*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Cultivo de Eucalipto.....	16
Figura 2: Estrutura anatômica de Angiospermas..	19
Figura 3: Estrutura macroscópica de folhosas	20
Figura 4: Direções ou eixos principais.....	21
Figura 5: Modelo simplificado da cadeia produtiva florestal.	23
Figura 6: Crescimento do plantio de eucalipto no Brasil.	24
Figura 7: Exemplares de <i>Amaru</i> recém abatidos.	25
Figura 8: Construção feita com Amaru Perfilado.....	27
Figura 9: Estrutura de passarela de pedestres feita com Amaru Perfilado.	28
Figura 10: Diagrama tensão vs. deformação para determinação da rigidez à compressão paralela às fibras. Fonte: ABNT NBR 7190, 1997.....	35
Figura 11: Graus de severidade de rachas (fendas) nas regiões do topo e base.	38
Figura 12: Graus de severidade de rachas (fendas) no corpo do poste.....	39
Figura 13: Geometria das peças “côncavas”, vista da seção transversal.	43
Figura 14: Geometria das peças “retas”, vista da seção transversal.....	44
Figura 15: Geometria das peças “roliças”, vista da seção transversal.	44
Figura 16: Elementos da seção transversal das peças de Amaru.....	45
Figura 17: Disposição dos discos de madeira na estufa, ensaio de umidade.	46
Figura 18: Ilustração esquemática do ensaio de flexão.	47
Figura 19: Peça roliça de madeira sendo ensaiada na flexão estática.....	48
Figura 20: Indicação da carga de ruptura no anel dinamométrico.....	48
Figura 21: Detalhe do corpo de prova rompido onde observa-se a.....	49
Figura 22: A. Aplainamento; B. Desengrossamento; C. Semi-blocos confeccionados após o processamento das peças.....	50
Figura 23: Esquema utilizado para confecção dos corpos de prova de compressão e cisalhamento a partir da peça ensaiada na tração.	51
Figura 24: Vista da seção transversal do corpo de prova usado no ensaio de tração	52
Figura 25: Vista geral do corpo de prova usado no ensaio de tração.	52
Figura 26: Máquina utilizada nos ensaios de tração paralela às fibras.	53
Figura 27: Ensaio de tração paralela, A. antes e B. depois de aplicada a carga.	53
Figura 28: Indica as medições feitas no corpo de prova usado na compressão.	54

Figura 29: A. apoios metálicos para os relógios; B. relógios comparadores com precisão de 1 μ ; C. corpo de prova com apoios acoplados; D. ensaio de compressão paralela às fibras.	55
Figura 30: Ensaio de ruptura na compressão paralela às fibras.	56
Figura 31: Corpo de prova após ser realizado o carregamento até a ruptura.	56
Figura 32: Regiões onde foram feitas as medidas no corpo de prova de cisalhamento.	57
Figura 33: Área cisalhante considerada no ensaio.....	57
Figura 34: Ensaio de cisalhamento evidenciando o dispositivo utilizado.	58
Figura 35: Corpo de prova de cisalhamento após a ruptura.	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Consumo brasileiro de madeira em tora para uso industrial.	24
Tabela 2: Porcentagens de retração radial e tangencial de algumas espécies.	32
Tabela 3: Coeficientes de anisotropia.	32
Tabela 4: Classes de resistência das folhosas (dicotiledôneas).	41
Tabela 5: Classes de resistência das coníferas.	42
Tabela 6: Divisão do lote em sublotes.	46
Tabela 7: Valores médios de f_{c0} e $E_{c0,m}$ calculados para cada geometria.	59
Tabela 8: Valores médios de f_{t0} calculados para cada geometria.	60
Tabela 9: Valores médios de f_{v0} calculados para cada geometria.	61
Tabela 10: Valores médios de MOE e MOR calculados para cada geometria.	61
Tabela 11: Classe de resistência do <i>Amaru</i>	62
Tabela 12: Valores médios de madeiras de Eucalipto.	63

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1. Objetivos Gerais.....	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1. <i>Eucalyptus</i>	16
2.1.1. Estrutura Anatômica e Características da Madeira de Angiospermas	18
2.2. Direções da madeira	21
2.3. Florestas Plantadas	21
2.4. <i>Amaru</i>	25
2.4.1. <i>Amaru</i> Perfilado	27
2.5. Propriedades da Madeira	28
2.5.1. Propriedades Físicas	28
2.5.2. Propriedades Mecânicas	32
2.6. Documentos Normativos	37
2.7. Padrões de Referência	39
2.8. Classes de Resistência	40
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	43
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	58
5. CONCLUSÕES	65
6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	65
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66

1. INTRODUÇÃO

As florestas nativas brasileiras durante muito tempo supriram a demanda dos segmentos consumidores de madeira, sobretudo aqueles ligados à produção dos produtos de madeira roliça. A partir de 1967, quando o governo federal instituiu incentivos fiscais para reflorestamento, as plantações comerciais começaram a florescer como negócio, aliadas à crescente demanda de madeira e extinção quase que completa de algumas matas brasileiras.

O gênero *Eucalyptus* compreende um grande número de espécies, com madeiras de características físico-mecânicas e estéticas bastante diferenciadas, o que permite a substituição de várias espécies latifoliadas nativas.

Arelado à exploração de madeiras provenientes de florestas plantadas, têm-se a necessidade de caracterizar estas espécies a fim de possibilitar um melhor aproveitamento das mesmas. Atualmente a caracterização físico-mecânica é feita seguindo os ensaios propostos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), em sua Norma Regulamentadora NBR 7190:1997.

Dentro desse contexto, no que se refere a uma estimativa razoável do comportamento da madeira é preciso que haja uma quantidade suficiente de corpos de prova de modo que a amostra retirada de um lote que se deseja analisar seja representativa estatisticamente.

De uma maneira geral a norma brasileira de madeira ABNT NBR 7190:1997 recomenda três tipos de caracterização para madeira: completa, simplificada e mínima.

O segundo tipo de caracterização, usado para espécies pouco conhecidas, é a caracterização mínima. A partir desta caracterização são determinados os valores de resistência a tração e a compressão na direção das fibras, a resistência ao cisalhamento, além dos valores de densidade básica e aparente.

O terceiro tipo de caracterização recomendada pela norma brasileira de madeiras é a caracterização simplificada, que é utilizada para espécies de madeiras usuais. Neste caso, a norma recomenda algumas equações para a obtenção dos valores de resistência em função da resistência da madeira obtida na direção das fibras. Vale salientar que a referência da norma brasileira de madeiras é a resistência à compressão na direção paralela as fibras.

Uma vez determinados os valores de resistência e rigidez do lote de madeira na umidade considerada, pode-se enquadrar a madeira analisada em uma classe de resistência obtida na umidade considerada padrão pela norma, ou seja, 12% (madeira seca).

Segundo a ABNT NBR 7190:1997 que atualmente encontra-se em processo de revisão, a utilização das classes de resistência tem por objetivo o emprego de madeiras com propriedades padronizadas, orientando a escolha do material para projetos estruturais.

1.1. Objetivos Gerais

Este trabalho teve como objetivo principal caracterizar a madeira de *Amaru*, um híbrido de Eucalipto, proveniente do cruzamento de outras duas espécies, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*. Os lotes de madeira plantada de onde foram retiradas as amostras dos híbridos de Eucalipto é de posse da empresa Plantar Empreendimentos e Produtos Florestais Ltda. Os exemplares de madeira analisados neste estudo apresentaram 10 anos de idade.

Os objetivos específicos deste trabalho foram:

- Classificação Visual de Peças Roliças;
- Caracterização Física da Madeira (Propriedades Físicas);
- Caracterização Mecânica da Madeira (Propriedades Mecânicas).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Atualmente no Brasil existe um grande número de florestas plantadas de madeiras de diferentes espécies de Pinus e Eucaliptos. Também tem ganhado destaque o aumento do número de florestas plantadas de híbridos de Eucalipto, que visam melhorar suas propriedades mecânicas, a partir da combinação de diferentes espécies.

2.1. *Eucalyptus*

O gênero *Eucalyptus* (Figura 1) pertence à divisão *Angiospermae*, classe *dicotyledoneae*, e conta com aproximadamente 600 espécies. A grande variedade de espécies dificulta a generalização de suas características, pois existem variações significativas dentro do gênero devido às diferentes propriedades genéticas e condições ambientais.

A Figura 1 exemplifica um reflorestamento de Eucalipto, da espécie *E. dunnii*.



Figura 1: Cultivo de Eucalipto. Fonte: EMBRAPA (2010).

O gênero engloba desde pequenos arbustos até árvores extremamente altas. A maioria das espécies tem a copa rala e alongada, tronco cilíndrico e retilíneo.

Em geral, a madeira *Eucalyptus* tem a densidade variando significativamente entre as espécies, mas na maioria delas a densidade segue um padrão, aumentando no sentido medula-casca. A resistência natural contra organismos

deterioradores varia de baixa à moderada e possui boas propriedades mecânicas. Por outro lado, existe relativa dificuldade no que se refere à impregnação de tratamentos preservativos assim como a interação com adesivos estruturais. Além disso, existem também problemas relacionados aos processos de serragem e secagem no que se refere à qualidade do produto final (RODRIGUES, 2002; PEREIRA *et al.*, 2000).

São diversas as características viáveis e atrativas que incentivam a plantação de eucalipto, entre elas estão: a alta capacidade produtiva, a grande variedade entre as espécies, a adaptação a variados ambientes e as excelentes características silviculturais, pois apresenta bom rendimento, boa forma e boa qualidade da madeira (SOUZA *et al.*, 2007).

As espécies deste gênero são nativas da Austrália e Ilhas da Oceania, e se caracterizam por serem árvores de rápido crescimento. No Brasil, os eucaliptos foram introduzidos por Edmundo Navarro de Andrade junto a Companhia Paulista de Estradas de Ferro no início do século XX no Estado de São Paulo (CALIL NETO, 2011).

As plantações de eucalipto se expandiram com o incentivo fiscal para empreendimentos florestais implantados nas regiões sul e sudeste do país em 1967. A política de incentivos dada pelo governo brasileiro gerou grandes investimentos, principalmente vindo de indústrias privadas que necessitavam de matéria prima (SOUZA, 2007).

A utilização da madeira de eucalipto foi ampliada a partir de estudos relacionados ao melhoramento de espécies (procedências, clonagens, híbridos), implantação de técnicas silviculturais diferenciadas (desrama e desbaste), espaçamento entre as árvores e a idade em que são abatidas (OKINO, 2008).

São diversas as possibilidades de aplicação da madeira de eucalipto. As espécies deste gênero tem alto índice de aproveitamento, desde o tronco (para a fabricação de sarrafos, lambris, ripas, vigas, postes, varas, esteios para minas, mastros para barcos, tábuas para embalagens, móveis e partículas, lâminas para painéis ou o aproveitamento da celulose para a fabricação de papel), como também as folhas (para a fabricação de óleos na indústria de perfumes, produtos de limpeza e farmacêuticos além da geração de energia térmica para a produção de carvão) e a casca (para a extração do tanino utilizado no curtimento do couro) (BARROS FILHO, 2009).

De acordo com Janhs (2008), no Brasil, a madeira de Eucalipto é utilizada principalmente na indústria de celulose e papel, como madeira estrutural e na produção de carvão vegetal para indústria siderúrgica.

Apesar de pouco explorada atualmente, há uma forte tendência em utilizá-la em sistemas construtivos. Entre o leque de produtos madeireiros, encontra-se o sistema wood-frame, que está sendo apresentado como uma proposta alternativa de construção de edificações residenciais. A madeira roliça é um material viável para diversos tipos de estruturas, pois apresenta elevada resistência e economia.

Segundo Rocha (2000), a pouca utilização do gênero para obtenção de madeira serrada se deve a algumas propriedades que dificultam o desdobro e também à elevada retratibilidade, além da propensão aos defeitos de secagem como rachaduras de topo e empenamentos.

Para o melhor aproveitamento é necessário que se conheça as propriedades físicas e mecânicas das espécies, possibilitando assim, a melhor aceitação no mercado interno e melhor exploração das propriedades positivas disponíveis. É fundamental que seja aplicado um rigoroso controle de secagem desta espécie de madeira objetivando a obtenção de melhor qualidade do produto final.

2.1.1. Estrutura Anatômica e Características da Madeira de Angiospermas

Por tratar-se de um organismo heterogêneo, a madeira tem propriedades específicas, pois suas células desempenham diferentes funções. Segundo Oliveira *et al.* (2007), a estrutura anatômica influencia na aparência e afeta o comportamento físico-mecânico da madeira, dependendo do plano de referência.

As angiospermas, mais conhecidas como folhosas, hardwood ou “madeira dura”, são compostas por vasos, parênquima axial, parênquima radial (raios) e fibras, conforme Figura 2:

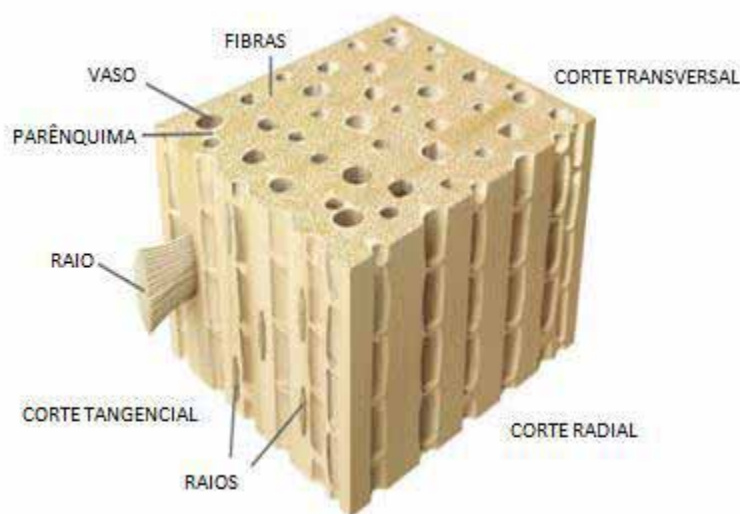


Figura 2: Estrutura anatômica de Angiospermas. Fonte: Gonzaga (2006).

A nível macroscópico, o tronco das folhosas, é composto por (Figura 3):

- **Casca e Floema:** de acordo com Bauer (2012) tem a função de proteger o lenho e também ser veículo para o transporte de seiva elaborada das folhas até o lenho do tronco.
- **Câmbio:** segundo Coutinho (1999) o câmbio é formado por uma fina e quase invisível camada de células, situadas entre a casca e o lenho. Para Bauer (2012) o câmbio é constituído por um tecido em permanente transformação, o tecido meristemático. Suas células são responsáveis pelo desenvolvimento das árvores. Periodicamente, esta fina camada se transforma em novas camadas do lenho conhecidas como anéis de crescimento.
- **Lenho:** é o núcleo responsável pela sustentação, resistência e transporte de nutrientes da árvore. Local de onde se extraem peças estruturais. O lenho se divide em alburno e cerne, descritos brevemente a seguir:

a) Alburno: Mais claro que o cerne, formado por células vivas e ativas. Tem a função de resistência e transporte de seiva bruta, das raízes até a copa. É a porção tratável da seção transversal da madeira, que pode receber e incorporar os preservantes, como CCA e CCB.

- b) Cerne:** Mais escuro do que o alburno, formado por células mortas. Alterações progressivas durante o processo de crescimento engrossam as paredes celulares, provocando a lignificação das células, ampliando seu tamanho. Em consequência, o cerne tem maior densidade, resistência mecânica e maior durabilidade.

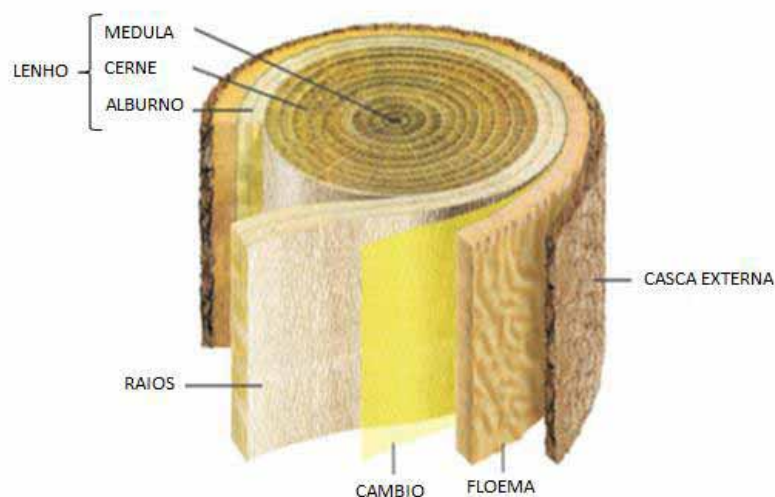


Figura 3: Estrutura macroscópica de folhosas. Fonte: Gonzaga (2006).

Estudando a madeira, pode-se concluir que a mesma apresenta algumas características específicas, como:

- **Higroscopicidade:** Machado (2006) definiu como sendo um estado permanente de equilíbrio do teor de umidade da madeira com ambiente em que se encontra. Rosado (2004) declarou que a madeira, sendo um material higroscópico, pode continuar constantemente a absorver e eliminar água com o meio ambiente, dependendo das variações da umidade relativa (UR), temperatura, ventilação, dimensões da peça ao qual a madeira está sujeita.
- **Heterogeneidade:** para Trugilho *et al.* (1996) a madeira é um material heterogêneo que possui diferentes tipos de células, que adaptadas, desempenham funções específicas.

2.2. Direções da madeira

Coutinho (1999) define ainda três direções básicas na madeira, indicadas na Figura 4:

- Direção tangencial: direção tangente aos anéis de crescimento;
- Direção radial: direção radial transversal aos anéis de crescimento;
- Direção axial: sentido das fibras, longitudinal em relação ao caule;

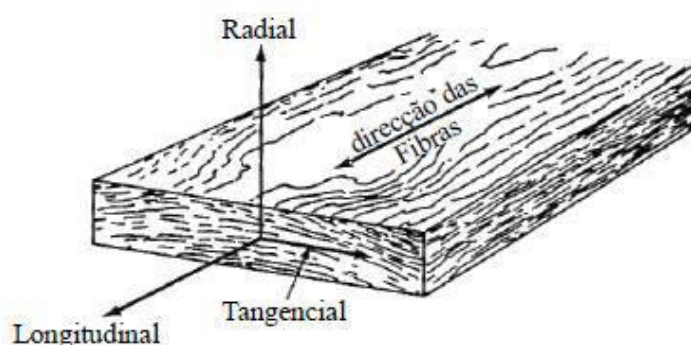


Figura 4: Direções ou eixos principais. Fonte: Smith (1990, apud COUTINHO, 1999).

2.3. Florestas Plantadas

A silvicultura teve início no Brasil no início do século passado, com o estabelecimento dos plantios florestais com espécies exóticas para substituição da madeira das florestas nativas de difícil reposição. As principais espécies trazidas para o Brasil foram os eucaliptos, introduzidos pela Companhia Paulista de Estrada de Ferro em 1904, e as coníferas (*Pinus*), pela Companhia Melhoramentos de São Paulo em 1922. A tecnologia desenvolvida neste período encontra-se fortalecida pelas indústrias florestais brasileiras até os dias atuais (PEREIRA *et al.*, 2006; ABRAF, 2009).

Para Nahuz (2004), tanto na região sudeste onde se encontravam os primeiros plantios, como na região sul do Brasil, a madeira que era usada na construção habitacional, especialmente em estruturas, concentra-se entre 10 ou 12 espécies tradicionais (Cambará, Cupiúba, Maçaranduba, Cumaru, Pariri, Garapa, Itaúba, Tatajuba, Cedrinho, Ipê e Jatobá.). A escassez crescente destas madeiras e o seu alto preço provocou sua substituição por outras madeiras, mais abundantes e disponíveis a preços competitivos.

A demanda de madeiras como material de construção aumenta com a expansão do setor, não só nos usos tradicionais (estruturas, pisos e esquadrias), mas também como material principal, tendo o seu uso aumentado pelos sistemas *wood-frame* e perfilados de madeira roliça. Esta expansão tem requerido matérias-primas de características uniformes, de amplo suprimento e baixo custo. Características estas encontradas principalmente em madeiras de florestas plantadas, homogêneas e de rápido crescimento (ICIMOTO, 2012).

Atualmente o setor agroflorestal merece destaque principalmente pela geração de renda e empregos, produção de bens e serviços e elevação no valor agregado dos produtos florestais. A grande diversidade de produtos associados às florestas plantadas caracteriza a cadeia produtiva brasileira relacionada ao setor, como mostra a Figura 6. Esta diversidade compreende a produção, colheita, transporte de madeira e os produtos finais, como papel e celulose, painéis de madeira, madeira serrada, siderurgia a carvão vegetal e biomassa, entre outros (ABRAF, 2013).

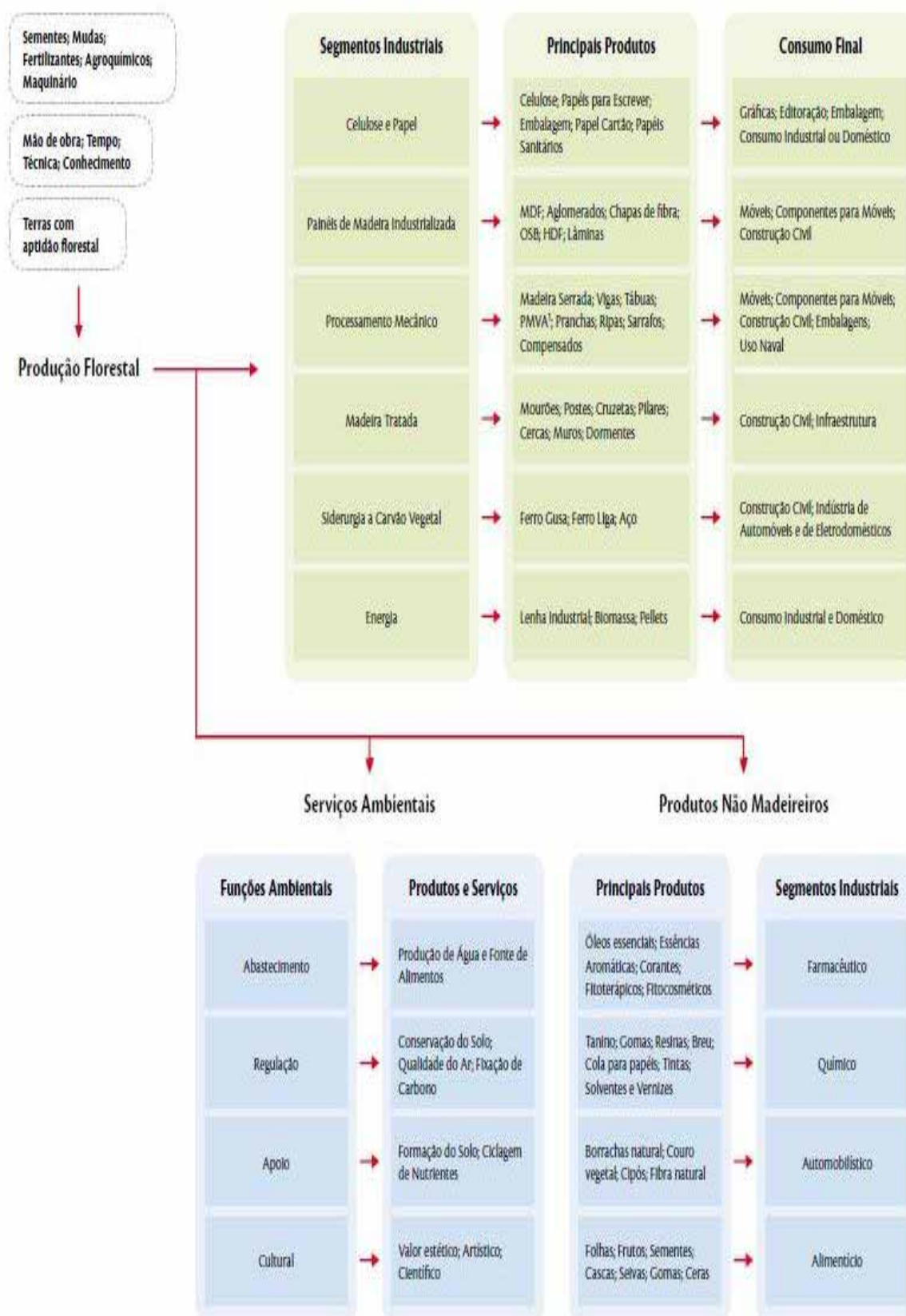


Figura 5: Modelo simplificado da cadeia produtiva florestal.

Fonte: ABRAF 2013, adaptado de VIEIRA, L. A.

De acordo com Valverde *et al.* (2004), o grande crescimento das plantações florestais se deve às condições favoráveis encontradas no país, como clima, solo, extensão territorial, mão de obra, infraestrutura e capacidade gerencial produtiva, impulsionando a economia e aumentando o nível de exportações do setor. O gráfico da Figura 6 mostra o crescimento do plantio de eucalipto no Brasil no intervalo de 6 anos, de 2006 a 2012.

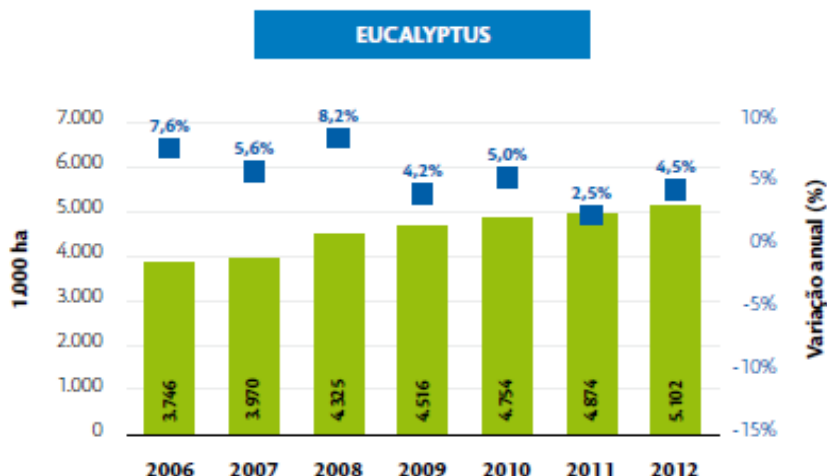


Figura 6: Crescimento do plantio de eucalipto no Brasil.

Fonte: ABRAF, 2013.

A área brasileira de plantios de *Eucalyptus* e *Pinus* já ultrapassa 6,66 milhões de hectares. Os plantios de *Eucalyptus* representaram 76,6% da área total e os plantios de *Pinus*, 23,4% em 2012 (ABRAF, 2013).

A madeira proveniente destes milhões de hectares é processada quase que totalmente dentro do Brasil. A Tabela 1 mostra o consumo brasileiro de madeira em tora para uso industrial em 2012 por segmento e gênero.

Tabela 1: Consumo brasileiro de madeira em tora para uso industrial.

Segmento	Consumo de Madeira em Toras (m³)			
	Eucalyptus	Pinus	Outros	Total
Celulose e Papel	55.033.172	9.108.030	5.000	64.146.202
Painéis Reconstituídos	5.580.247	7.252.635	158.576	12.991.458
Indústria Madeireira	7.034.315	27.424.294	288.000	34.746.609
Carvão	23.144.200	-	-	23.144.200
Lenha Industrial	37.067.120	3.829.361	3.786.103	44.682.584
Madeira Tratada	1.650.320	-	-	1.650.320
Outros	1.061.617	31.135	-	1.092.752
Total	130.570.991	47.645.455	4.237.679	182.454.125

Fonte: ABRAF, 2012.

2.4. *Amaru*

A Plantar Empreendimentos e Produtos Florestais Ltda., uma empresa influente no ramo madeireiro, com anos de experiência, é especializada em serviços de silvicultura. Com atuação em vários estados do Brasil, tem como foco do seu negócio a Gestão de Florestas. Atua desde a administração do viveiro, passando pelo plantio e manutenção das árvores, assessorias técnica e ambiental e gestão de insumos, até a formação completa do ativo florestal.

A equipe técnica é altamente qualificada e comprometida com a aplicação de constantes pesquisas e tecnologias operacionais. Estas são desenvolvidas e aperfeiçoadas ao longo do tempo, enriquecidas pelo intercâmbio permanente com os seus clientes e instituições afins.

Seguindo este padrão de qualidade, a empresa criou o *Amaru* (Figura 7), uma madeira exclusiva da Plantar, desenvolvida após décadas de pesquisas de melhoramento genético de Eucaliptos. O *Amaru* possui maior durabilidade e resistência se comparado com outras madeiras de reflorestamento disponíveis no mercado. O seu processo de produção é baseado na clonagem de indivíduos rigorosamente selecionados, que dão origem às florestas uniformes caracterizadas pela baixa incidência de rachaduras, baixa tortuosidade e alta resistência mecânica. Cada muda produzida tem o DNA da matriz, permitindo a reprodutibilidade e a rastreabilidade de cada peça.



Figura 7: Exemplos de *Amaru* recém abatidos.

O *Amaru* pode ser aplicado em áreas diversas, como construção civil, agronegócios, paisagismo, movelaria e alta decoração. Além disso, dependendo do uso final da madeira, a empresa também pode fornecer a madeira tratada, onde todos os parâmetros estabelecidos pelas principais recomendações normativas brasileiras. O processo de impregnação das peças, com a substância química preservativa CCA (Cobre, Cromo e Arsênio) acontece em autoclave, que garante a proteção do alburno contra o ataque de insetos xilófagos (cupins, brocas, carunchos, etc.) e fungos apodrecedores.

Para novos desenvolvimentos a empresa mantém parcerias com universidades e institutos de pesquisas em diversos pontos do País, além da colaboração de pesquisadores independentes.

De acordo com Pereira (2000) duas estratégias podem ser empregadas quando o objetivo é produzir madeira de alta qualidade. A primeira, mais utilizada até hoje, consiste em melhorar geneticamente a qualidade da madeira das espécies mais plantadas, como *E. grandis* e *E. saligna*. A segunda alternativa é a identificação de espécies produtoras de madeira de características satisfatórias para o uso que se pretende, com programas posteriores destinados a aumentar a produtividade.

O *Amaru* segue estes preceitos e está no topo de um ciclo de desenvolvimentos tecnológicos iniciado pelo grupo desde sua fundação. Normalmente quando a madeira de Eucalipto é usada na construção, são feitas adaptações da matéria-prima à obra. *Amaru* fez o caminho inverso, ou seja, foi desenvolvido para atender as especificações do mercado da construção.

2.4.1. Amaru Perfilado

É um sistema construtivo com produto padronizado no comprimento e em diâmetros das peças com 11, 13 e 15 centímetros, para as mais diversas finalidades na obra. O sistema permite ao construtor maior rapidez na execução de encaixes com excelente padrão de qualidade, além de facilidade no transporte e armazenamento das peças.

Segundo Cabral (2010), este sistema construtivo surgiu para atender à necessidade do mercado da construção civil, utilizando madeiras renováveis, de ciclo curto e de boa qualidade, como alternativa ao uso de produtos de fontes não renováveis, como concreto e aço. Por possuir ótimas qualidades de estabilidade dimensional e resistência, o *Amaru* possibilita o desenvolvimento de projetos com maior rapidez, pois utiliza peças perfiladas padronizadas, que proporcionam economia e beleza à edificação.

A instalação de caibros também é facilitada pelo diâmetro constante das peças, podendo ser pregados diretamente. Os elementos complementares à edificação, como pergolados e bancos, também podem ser construídos facilmente com o uso do *Amaru*. Pode-se observar duas aplicações de usos deste sistema construtivo nas Figuras 8 e 9, abaixo.



Figura 8: Construção feita com Amaru Perfilado.

Fonte: PLANTAR, 2013.



Figura 9: Estrutura de passarela de pedestres feita com Amaru Perfilado.

Fonte: PLANTAR, 2013.

2.5. Propriedades da Madeira

2.5.1. Propriedades Físicas

São as propriedades ligadas ao comportamento físico da madeira e tem influência direta sobre as propriedades mecânicas da mesma. Altos valores de teor de umidade, por exemplo, interferem nos valores de resistência e rigidez.

a) Umidade

Segundo Moreschi (2010), na madeira, a água pode ser encontrada em diferentes locais: nos espaços celulares e intracelulares (água livre), impregnada na parede das células (água de impregnação) e presente na constituição química da madeira (água de adsorção química).

- Água Livre: Teores de umidade acima do Ponto de Saturação das Fibras (PSF) constituem as águas capilares. Durante o processo de secagem são as primeiras a serem removidas, pois estas ocupam os vasos capilares. Madeiras com umidade acima do PSF pouco sofrem com a estabilidade dimensional. Este tipo de umidade é retirada muito facilmente da madeira, até mesmo se a peça for disposta secando ao ar.

- Água de Impregnação: Abaixo do PSF, a madeira começa a perder água impregnada. Sua remoção leva a perda de volume e ao tensionamento do material (retração nos eixos).
- Água de Adsorção Química: Segundo Moreschi (2010), é a água “[...] aderida às interferências existentes entre moléculas de celulose e de hemicelulose por forças de valência secundária monomoleculares (forças de *Van de Wall* e de hidrogênio) [...]”.

Hara (2011) definiu em seu trabalho o Ponto de Saturação das Fibras (PSF) como sendo o limite da umidade entre a água livre e a água impregnada, em torno de 25 % de Umidade. A perda da umidade abaixo do ponto de saturação das fibras leva à retração, alterações de densidade e modificações das propriedades mecânicas.

Segundo Moreschi (2010), para determinar a umidade presente na madeira (teor de umidade), divide-se o peso da água contida na madeira pelo seu peso completamente seco, resultado expresso em porcentagem.

Com a Equação (1) calcula-se o Teor de Umidade das amostras:

$$U_{(\%)} = \frac{m_i - m_s}{m_s} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

m_i : massa inicial do corpo de prova, em g;

m_s : massa seca de madeira, em g;

$U_{(\%)}$: teor de umidade, em %.

b) Densidade Básica, Aparente e Real

Para Oliveira *et al.* (2007), densidade ou também conhecida como massa específica, é a propriedade que mais fornece informações sobre as características da madeira. São três tipos: básica, aparente e real. A densidade básica relaciona a massa de madeira completamente seca em estufa, com o seu volume saturado. A densidade aparente é determinada nas condições de teor de umidade padrão, a condição internacional é de 12 %. E na densidade real, a massa e o volume são usados nas condições que estiverem, com umidade diferente de 12%.

A densidade básica (ρ_{bas}) é uma massa específica convencional definida pela razão entre a massa seca e o volume saturado, representada pela Equação (2), a seguir:

$$\rho_{bas} = \frac{m_s}{V_{sat}} \quad (2)$$

Onde:

m_s : é a massa seca da madeira, em kg;

V_{sat} : é o volume da madeira saturada, em m³.

A densidade aparente (ρ_{ap}) é uma massa específica convencional, definida pela razão entre a massa e o volume de corpos de prova com teor de umidade de 12%, sendo equação usada para determinar a densidade aparente é a Equação (3):

$$\rho_{ap} = \frac{m_{12}}{V_{12}} \quad (3)$$

Onde:

m_{12} : é a massa da madeira a 12% de umidade, em kg;

V_{12} : é o volume da madeira a 12% de umidade, em m³.

A densidade real (ρ_{real}) é a massa específica definida pela razão entre a massa e o volume de corpos de prova com a umidade em q estiverem, a equação usada para calcular este tipo de densidade é a Equação (4), abaixo:

$$\rho_{real} = \frac{m_{(U\%)}}{V_{(U\%)}} \quad (4)$$

Onde:

$m_{(U\%)}$: é a massa da amostra, com teor de umidade diferente de 12%, em kg;

$V_{(U\%)}$: é o volume do sólido, com teor de umidade igual ao da massa, em m³.

No Anexo E da ABNT NBR 7190:1997 as madeiras de Eucalipto apresentam densidade aparente (a 12% de Umidade) variando conforme a espécie de 640kg/m³ a 1087kg/m³, demonstrando a grande variabilidade dentro do gênero.

c) Estabilidade Dimensional

Caracterizada pelas propriedades de retração e inchamento no interior da madeira. Segundo Oliveira *et al.* (2010), estabilidade dimensional é o “[...] fenômeno da variação dimensional da madeira, quando há alteração no seu teor de umidade. [...]” Como a madeira reage à perda ou ganho de água, ocorrem variações nas dimensões das peças.

Segundo Garcia (2010), “[...] a retração tangencial é maior que a radial, enquanto a retração longitudinal é praticamente desprezível, para quase todas as madeiras. [...]” Outro parâmetro importante, é relação T/R, conhecida também como coeficiente de anisotropia, dado pela razão entre as retrações tangencial e radial. Quanto mais próxima de um, melhor será a estabilidade da madeira. Na Tabela 2, têm-se algumas porcentagens de retração radial e tangencial e na Tabela 3 a relação entre os coeficientes de anisotropia e a estabilidade dimensional:

Tabela 2: Porcentagens de retração radial e tangencial de algumas espécies.

Espécie	R (%)	T(%)	Relação T/R
Angelim Pedra	4,3	7,0	1,6
Cambará	3,6	8,7	2,4
Castanheira	4,7	9,4	2,0
Cedro	4,0	5,3	1,3
Cupiúba	4,3	7,1	1,7
Eucalipto Citriodora	6,5	9,6	1,5
Eucalipto Tereticornis	7,3	16,7	2,3
Freijó	6,3	11,7	1,9
Goiabão	8,9	18,8	2,1
Ipê	5,1	7,8	1,5
Jatobá	3,6	6,9	1,9
Louro Preto	4,2	8,0	1,9
Mandioqueira	4,7	9,3	2,0
Mogno	3,0	4,1	1,4
Sucupira	5,9	7,3	1,2
Tatajuba	4,1	5,9	1,4

Tabela 3: Coeficientes de anisotropia.

Coeficiente de Anisotropia	Estabilidade Dimensional
< 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; Tomaselli (2000 *apud* MESKAU, 2010).

2.5.2. Propriedades Mecânicas

Dentre as propriedades da madeira, as propriedades mecânicas são as características mais importantes a serem analisadas num ensaio de caracterização. Segundo a norma ABNT NBR 7190:1997, para projetos estruturais, a caracterização mínima de espécies pouco conhecidas deve ser feita por meio da determinação dos seguintes valores:

- Resistência à compressão paralela às fibras (f_{co});
- Resistência à tração paralela às fibras (f_{to});
- Resistência ao cisalhamento paralelo às fibras (f_{vo});

Devem ser determinados também a densidade básica ou aparente e o teor de umidade, que são propriedades físicas de suma importância.

A caracterização simplificada da rigidez das madeiras deve respeitar os métodos de ensaio especificados. A rigidez das madeiras é aferida por meio da determinação de tais valores, que devem ser referidos à condição-padrão de umidade ($U = 12\%$):

O valor do módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras ($E_{c0,m}$) deve ser determinado por pelo menos dois ensaios. Admite-se que sejam iguais os valores médios dos módulos de elasticidade à compressão e à tração paralelas às fibras: $E_{c0,m} = E_{t0,m}$.

Ao estudar as propriedades mecânicas avalia-se a resistência e rigidez da madeira nos diferentes ensaios. De acordo com a ABNT NBR 7190:1997:

- Resistência:** é a capacidade de o material receber e suportar tensões. Calculada a partir da máxima tensão aplicada nos corpos de prova, até que estes entrem em colapso devido à ruptura.
- Rigidez:** que é medida através do valor médio do módulo de elasticidade, determinado na fase elástico-linear do material.

Propriedades caracterizadas: Compressão e Tração Paralela às Fibras, Cisalhamento e Flexão. Conforme a norma:

- **Compressão Paralela às Fibras**

Segundo norma ABNT NBR 7190:1997 a resistência à compressão paralela às fibras (f_{co}), em MPa, é dada pela Equação (5):

$$f_{co} = \frac{F_{co,max}}{A} \quad (5)$$

Onde:

$F_{co,max}$: máxima força aplicada ao corpo de prova durante o ensaio, em N;

A: área inicial da seção transversal comprimida, em m²;

f_{co} : resistência à compressão paralela às fibras, em MPa.

Segundo a norma ABNT NBR 7190:1997, o módulo de elasticidade é determinado no regime elástico, indicado na Figura 10, calculado pela Equação (6):

$$E_{c0} = \frac{\sigma_{50\%} - \sigma_{10\%}}{\varepsilon_{50\%} - \varepsilon_{10\%}} \quad (6)$$

Onde:

$\sigma_{50\%}$ e $\sigma_{10\%}$: tensões de compressão correspondentes a 10% e 50% da resistência, respectivamente;

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

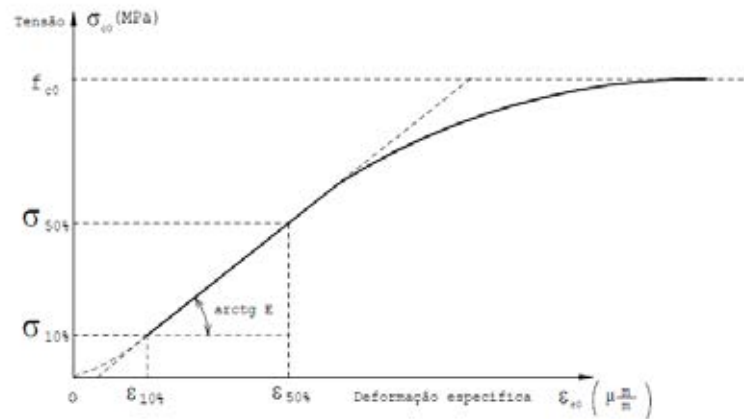


Figura 10: Diagrama tensão vs. deformação para determinação da rigidez à compressão paralela às fibras. Fonte: ABNT NBR 7190, 1997.

- **Tração Paralela às Fibras**

Segundo norma brasileira para estruturas de madeira ABNT NBR 7190:1997, a resistência à tração paralela às fibras (f_{to}), em MPa, é dada pela Equação (7):

$$f_{to} = \frac{F_{to,max}}{A} \quad (7)$$

Onde:

$F_{to,max}$: máxima força aplicada ao corpo de prova durante o ensaio, em N;

A: área inicial da seção transversal comprimida, em m²;

f_{to} : resistência à tração paralela às fibras, em MPa.

- **Cisalhamento**

Segundo norma ABNT NBR 7190:1997 a resistência ao cisalhamento paralela às fibras (f_{vo}), em MPa, é dada pela Equação (8):

$$f_{vo} = \frac{F_{vo,max}}{A_{vo}} \quad (8)$$

Onde:

$F_{vo,max}$: máxima força aplicada ao corpo de prova durante o ensaio, em N;

A_{vo} : área da seção cisalhante, em mm²;

f_{vo} : resistência ao cisalhamento paralelo às fibras, em MPa.

- **Flexão Estática**

De acordo com a norma brasileira de madeiras ABNT NBR 7190:1997 a resistência a flexão estática (f_M), em MPa, é dada pela Equação (9):

$$f_M = \frac{M_{max}}{W_e} \quad (9)$$

Onde:

M_{max} : máximo momento aplicado ao corpo de prova, em Nm;

W_e : módulo de resistência elástico da seção transversal do corpo de prova;

f_M : resistência à flexão estática, em MPa.

Rearranjando a Equação (9) chegou-se na Equação (10), usada para corpos de prova roliços:

$$f_M = \frac{8 \cdot P \cdot L}{\pi \cdot d_m^3} \quad (10)$$

Onde:

P : força máxima aplicada, em N;

L : distância entre apoios, em mm;

d_m : diâmetro médio da seção, em mm;

f_M : resistência à flexão estática, em MPa.

Segundo norma ABNT NBR 7190:1997 o módulo de elasticidade é obtido pela Equação (11):

$$MOE = \frac{P.L^3}{48.f.I}$$
(11)

Onde:

P: força máxima aplicada, em N;

L : distância entre apoios, em m;

f: variação da flecha, em m;

I: momento de inércia da peça solicitada, em m⁴.

2.6. Documentos Normativos

A padronização dos ensaios é necessária para fins de comparação entre espécies de madeira. O Anexo B da norma brasileira de madeiras ABNT NBR 7190:1997 apresenta as recomendações relativas a procedimentos de ensaios para a caracterização de espécies de madeira.

O projeto brasileiro de documento normativo CB – 31:000.17-001 trata dos defeitos presentes na madeira como nós, fendas e rachas. É utilizado para postes de Eucalipto preservado para redes de distribuição elétrica. Este projeto de norma é previsto para cancelar e substituir a(s) ABNT NBR 8456:1984 e ABNT NBR 8457:1984, quando aprovado, sendo que até então as referidas normas continuam em vigor. O projeto estabelece condições mínimas exigíveis de postes e contrapostos de eucalipto e apresenta a classificação de rachas de acordo com o grau de severidade.

Segundo CB - 31:000.17-001 são aceitáveis os menores graus de severidade, conforme as especificações:

- Região do topo: grau de severidade 1 a 2 (Figura 11), onde a largura da fenda seja inferior a 5 mm e o comprimento longitudinal seja inferior a 300 mm;
- Região da base: grau de severidade 1 a 4 (Figura 11), onde a largura da fenda seja inferior a 10 mm e o comprimento longitudinal seja inferior a 300 mm;

- Corpo do poste: grau de severidade 1 a 7 (Figura 12), onde a largura da fenda seja inferior a 5 mm com comprimento longitudinal inferior a 1 m, para postes até 12 m.

As Figuras 11 e 12, a seguir, mostram os tipos de rachas e fendas encontrados nos topos e no corpo de alguns postes e os graus de severidade destes defeitos.

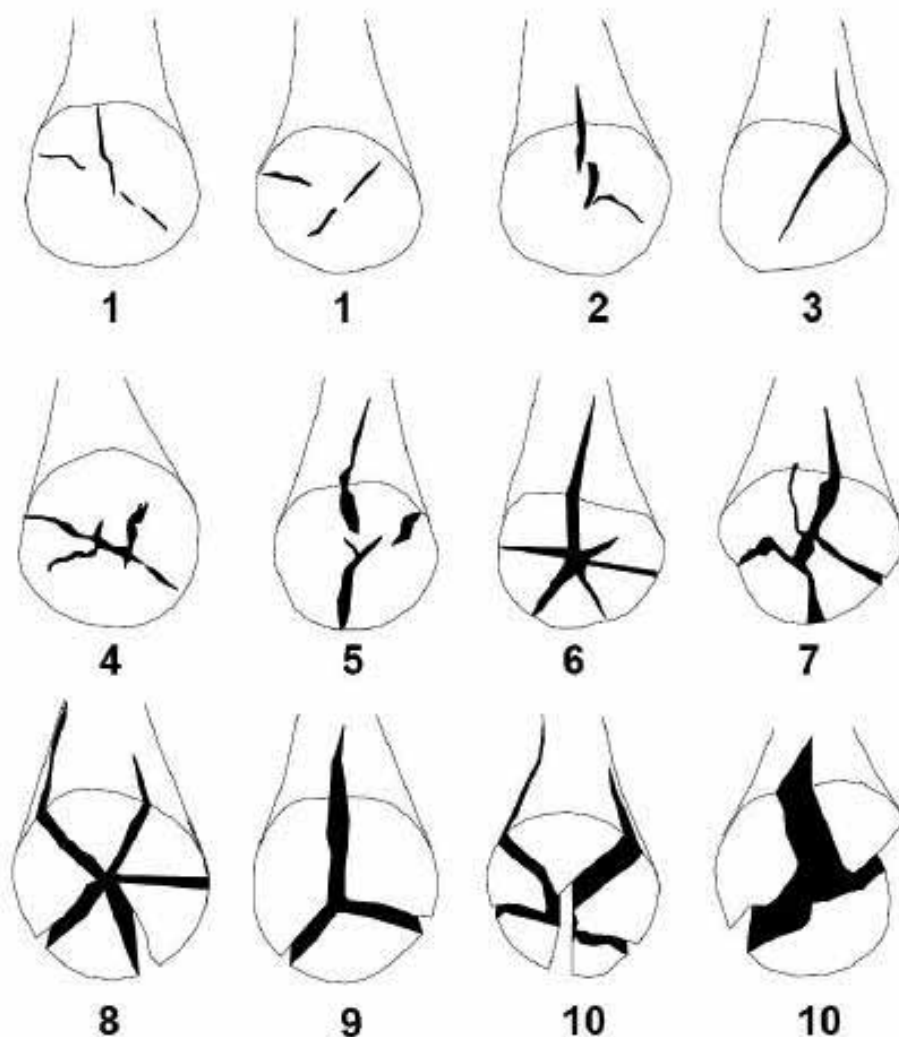


Figura 11: Graus de severidade de rachas (fendas) nas regiões do topo e base.

Fonte: Projeto CB – 31:000.17-001, ABNT, 2013.

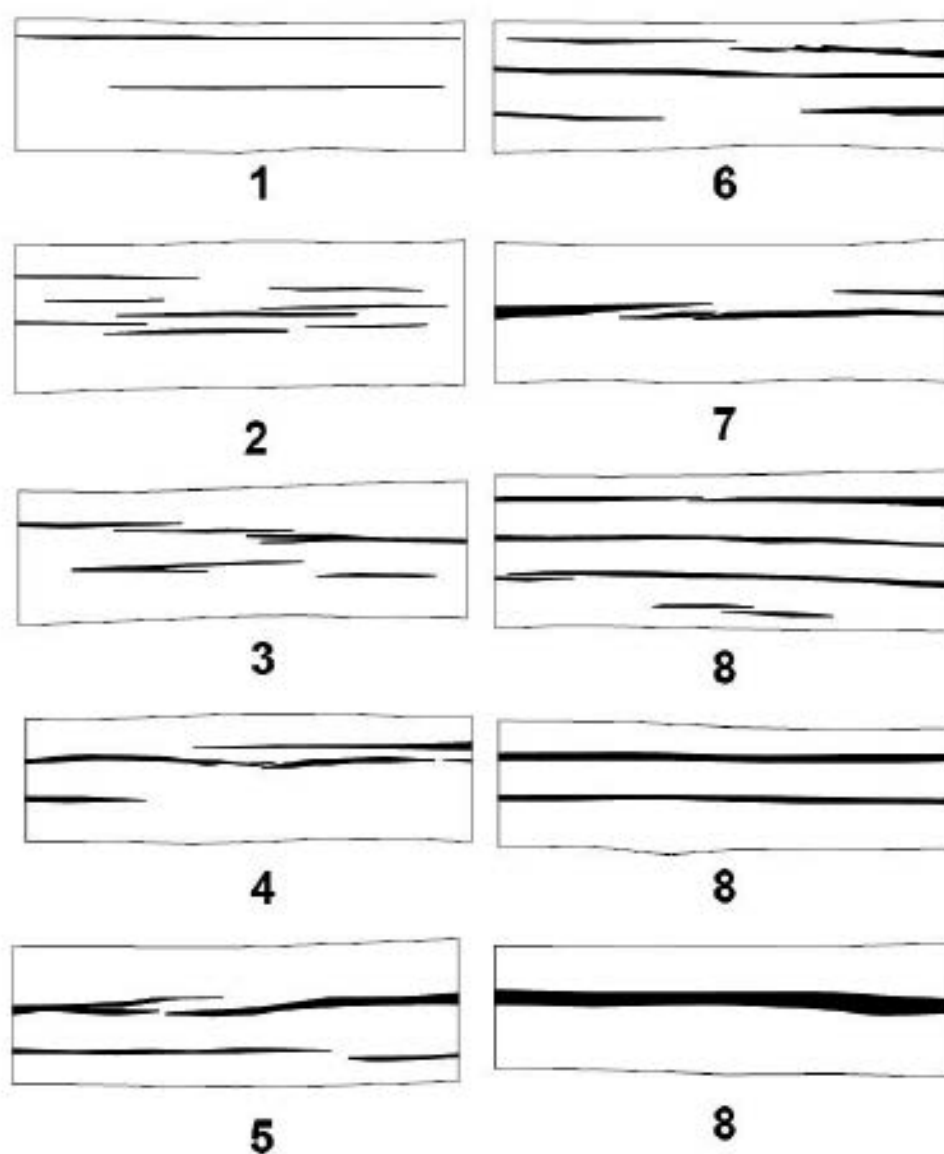


Figura 12: Graus de severidade de rachas (fendas) no corpo do poste.

Fonte: Projeto CB – 31:000.17-001, ABNT, 2013.

2.7. Padrões de Referência

Segundo a norma ABNT NBR 7190:1997, para valores de resistência e elasticidade em umidades diferentes da umidade padrão 12% é necessário ajuste dos resultados para a umidade padrão de 12%. É comum, na caracterização de um determinado material, obter resultados com diferentes teores de umidade. Para corrigir essa diferença a norma ABNT NBR 7190:1997 propõem as Equações (12) e (13), que valem para teores de umidade entre 10 e 25%.

Os valores de resistência devem ser corrigidos pela Equação (12), abaixo:

$$f_{12} = f_{(U\%)} \left[1 + \frac{3(U\% - 12)}{100} \right] \quad (12)$$

Onde:

f_{12} : valor de resistência corrigido para 12% de umidade, em MPa;

$f_{(U\%)}$: resistência calculada na umidade da amostra, em MPa;

$U\%$: teor de umidade do lote de madeiras estudado, em %.

Os valores de rigidez calculados devem ter sua correção feita através Equação (13), a seguir:

$$E_{12} = E_{(U\%)} \left[1 + \frac{2(U\% - 12)}{100} \right] \quad (13)$$

Onde:

E_{12} : valor de rigidez corrigido para 12% de umidade, em MPa;

$E_{(U\%)}$: rigidez calculada na umidade da amostra, em MPa;

$U\%$: teor de umidade do lote de madeiras estudado, em %.

Segundo a norma ABNT NBR 7190:1997 admite-se que a resistência e a rigidez da madeira sofram pequenas variações para umidade acima de 20 %.

2.8. Classes de Resistência

Segundo a norma ABNT NBR 7190:1997, a investigação direta da resistência pode ser usada para classificação das espécies quanto a sua classe de resistência, conforme as Tabelas 3 e 4. O valor característico da resistência deve ser estimado pela Equação (14).

$$f_{wk} = \left(2 \frac{f_1 + f_2 + \dots + f_{\frac{n}{2}-1}}{\frac{n}{2} - 1} - f_{\frac{n}{2}} \right) \times 1,1$$

(14)

De acordo com a ABNT NBR 7190:1997 “[...] os resultados devem ser colocados em ordem crescente $f_1 \leq f_2 \leq \dots \leq f_n$, desprezando-se o valor mais alto se o número de corpos de prova for ímpar, não se tomando para f_{wk} valor inferior a f_1 , nem a 0,70 do valor médio [...]”

Segundo a norma ABNT NBR 7190:1997, a classificação da resistência tem por objetivo padronizar as propriedades orientando a escolha do material para projetos estruturais. Abaixo seguem duas tabelas encontradas na referida norma (Tabela 4 e Tabela 5), nelas pode-se observar valores característicos de Resistência e Rigidez, além de valores de densidade (básica e aparente). Lembrando que os valores tabelados abaixo se encontram nos padrões normais de referência, com teor de umidade igual a 12%.

Tabela 4: Classes de resistência das folhosas (dicotiledôneas).

Classe	f_{c0k} [MPa]	f_{vk} [MPa]	E_{c0} [MPa]	ρ_{ap} [kg/m ³]
D 20	20	4	9500	650
D 30	30	5	14500	800
D 40	40	6	19500	950
D 50	50	7	22000	970
D 60	60	8	24500	1000

Fonte: Adaptada da ABNT NBR 7190 (2010) – Projeto de Revisão.

Tabela 5: Classes de resistência das coníferas.

Classe	f_{ck} [MPa]	f_{vk} [MPa]	E_{c0} [MPa]	ρ_{ap} [kg/m³]
C 20	20	4	3500	500
C 25	25	5	8500	550
C 30	30	6	14500	600

Fonte: Adaptada da ABNT NBR 7190 (2010) – Projeto de Revisão.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeira (LaMEM), pertencente ao Departamento de Engenharia de Estruturas (SET), Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo – EESC/USP, São Carlos/SP. O laboratório dispõe de todos os equipamentos necessários para caracterização das propriedades físico-mecânicas de madeira.

A madeira caracterizada foi um híbrido de *Eucalyptus*, abatido com 10 anos de idade. Esta madeira é proveniente de uma floresta plantada de posse da empresa Plantar Empreendimentos e Produtos Florestais Ltda.

O lote fornecido pela empresa possuía diâmetro médio das peças de 0,13m. Todo este lote foi seco ao ar, disposto no pátio, sem climatização ou qualquer tipo de estufa. No ato do recebimento do lote, foi possível perceber algumas diferenças em relação ao comprimento e a geometria das peças. O comprimento variou de aproximadamente 2,20m até 2,50m. Em relação ao aspecto das peças, observou-se que todas haviam sido torneadas, diminuindo e quase anulando a conicidade.

As amostras possuíam um acabamento diferenciado. A geometria de algumas peças era dotada de uma face côncava, outras toras tinham uma das faces reta e por fim algumas eram simplesmente roliças, sem qualquer acabamento além do torneamento. Esses tipos de acabamento foram feitos devido ao uso das peças no sistema construtivo utilizado pela empresa. As Figuras 13, 14 e 15 evidenciam os tipos de acabamento encontrado nas peças do referido lote.



Figura 13: Geometria das peças “côncavas”, vista da seção transversal.



Figura 14: Geometria das peças “retas”, vista da seção transversal.



Figura 15: Geometria das peças “roliças”, vista da seção transversal.

Depois de realizada a pesagem e as medições de comprimento e diâmetro foi feita a classificação visual das mesmas. Além dos valores de resistência e rigidez, foi analisada a presença de nós, fendas e rachaduras de topo. Seguindo as premissas fixadas no projeto de norma CB – 31:000.17-001 para postes de Eucalipto, conseguiu se classificar o grau de severidade das rachaduras de topo e das fendas encontradas em algumas peças.

A classificação visual serviu para prever quais corpos de prova resistem melhor aos esforços mecânicos, pois qualquer alteração na estrutura anatômica da madeira influencia nos resultados de resistência e rigidez.

A densidade foi calculada segundo a Equação (4) mostrada na revisão deste trabalho. A massa das peças de madeira com teor de umidade igual a 22,1% foi dividida pelo volume das mesmas peças, usou-se a média aritmética para chegar no valor da massa específica, que foi de 689 kg/m^3 . A partir desta, calculou-se a densidade aparente pelo método gráfico e o valor obtido foi 640 kg/m^3 .

Outro dado coletado na fase das medições foi o diâmetro aproximado do cerne. Com uma régua transparente, mediram-se as duas pontas de cada tora, para assim estimar a porção tratável do *Amaru*, que fica evidenciada pela quantidade de alburno encontrado nas mesmas. No item onde estão contidos os resultados tem-se a relação cerne-alburno.

A Figura 16 mostra a distinção entre cerne e alburno que foi encontrada nas peças. A grande quantidade de alburno encontrada é uma das qualidades exaltadas pela empresa como um ponto positivo da madeira de *Amaru*. A impregnação e a retenção da substância preservante na madeira se dão justamente por essa porção vantajosa de alburno conseguida nas peças deste híbrido.

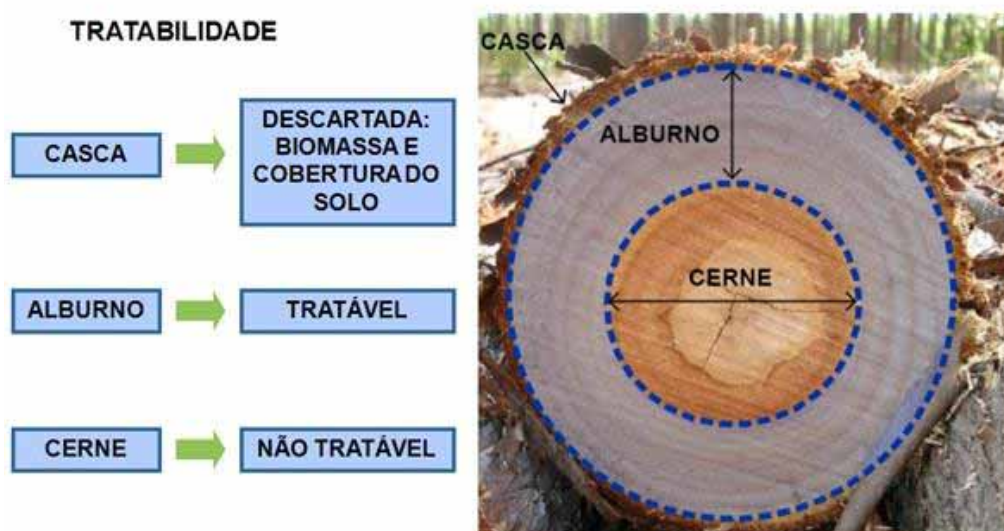


Figura 16: Elementos da seção transversal das peças de Amaru.

A umidade do lote foi obtida a partir de discos de madeira de aproximadamente 5 cm, retirados a 30 cm da extremidade de todas as peças da amostra, pesados antes e depois de secos em estufa por 48 horas, a uma temperatura de $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$, com variação de $3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ para mais ou para menos. A secagem foi considerada completa quando a massa do corpo de prova permaneceu constante. A Figura 17 mostra a disposição dos corpos de prova na estufa.



Figura 17: Disposição dos discos de madeira na estufa, ensaio de umidade.

Para iniciar os ensaios mecânicos, optou-se por dividir todo o lote (composto por 78 elementos) em dois sublotes, onde uma metade foi destinada a flexão estática e o restante foi ensaiado na tração paralela às fibras, como mostra a Tabela 6, a seguir.

Tabela 6: Divisão do lote em sublotes.

	Sublote 1	Sublote 2
Peças Côncavas	32	32
Peças com Lateral Reta	3	3
Peças Roliças	4	4
Total:	39	39

As peças tinham diferentes geometrias devido ao uso no sistema construtivo utilizado pela empresa. As peças côncavas são utilizadas nas paredes, as retas formam pilares duplos ou quádruplos e as roliças são responsáveis por elementos de viga e telhado.

O primeiro sublote foi testado na flexão estática, seguindo a norma ABNT NBR 7190:1997, com a diferença de que os ensaios não foram realizados com peças isentas de defeitos, mas sim com peças estruturais, com dimensões idênticas as usadas na construção civil.

- **Flexão Estática**

O ensaio de flexão estática foi utilizado para a determinação das propriedades elásticas (MOE) e de resistência (MOR) da madeira na fase elástico-linear. Foi conduzido com controle de deslocamento no centro do vão, sendo que o carregamento aplicado foi controlado com o auxílio de uma célula de carga e também de um anel dinamométrico. As medidas de deslocamento vertical no meio do vão (flecha) foram obtidas com a utilização de um relógio comparador. Para o cálculo do valor da elasticidade (MOE) fixou-se o deslocamento vertical máximo no meio do vão em $L/200$ onde L é distância entre apoios. Para a obtenção do módulo de ruptura (MOR) a carga foi aplicada até a falha da peça. No sistema utilizado, o valor da força aplicada na peça foi obtido através da multiplicação da constante do anel dinamométrico pelo número de divisões do relógio deste anel fixado no pistão do pórtico de ensaios. A Figura 18 ilustra o ensaio de flexão estática.

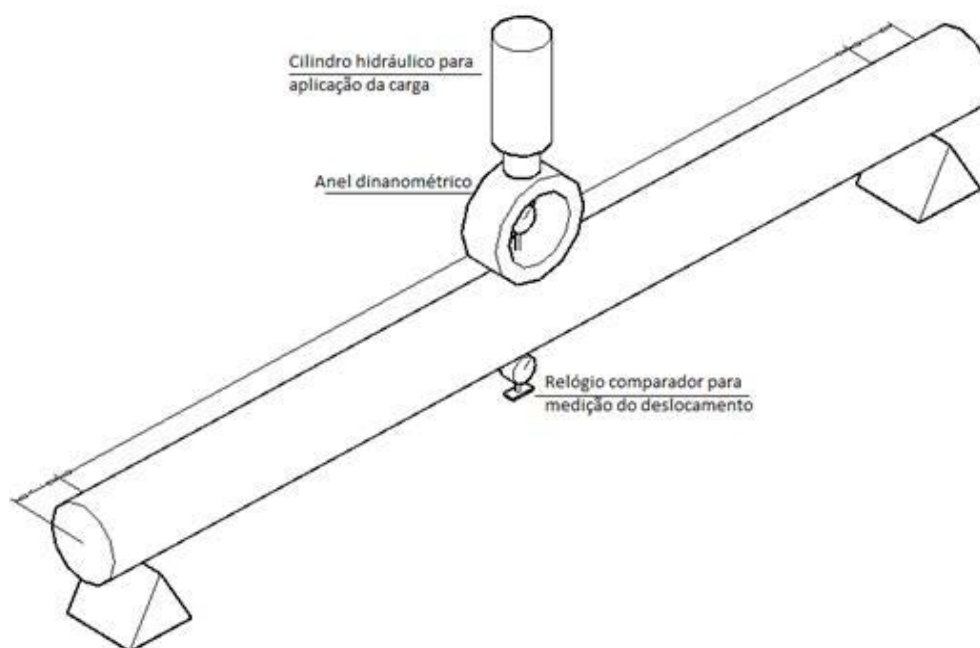


Figura 18: Ilustração esquemática do ensaio de flexão.

Depois de coletar os dados no ensaio de flexão, para calcular o Módulo de Elasticidade (MOE) nesta condição de carregamento foram rompidas todas as peças deste subloque, obtendo-se assim o Módulo de Ruptura (MOR) das peças. As Figuras 19, 20 e 21 mostram como os ensaios de flexão realizados.

O vão (L) usado no ensaio de flexão foi fixado em 2m, pois algumas peças tinham 2,20m de comprimento e outras tinham 2,50m. Portanto, fixado o tamanho do vão, restava aplicar a carga na região central da peça. Foi utilizada uma célula de carga onde a constante do anel dinamométrico era igual a 10,823kgf. O relógio comparador instalado na porção inferior do corpo de prova para medir a flecha possuía a precisão de 0,01mm.



Figura 19: Peça roliça de madeira sendo ensaiada na flexão estática.



Figura 20: Indicação da carga de ruptura no anel dinamométrico.



Figura 21: Detalhe do corpo de prova rompido onde observa-se a presença de um nó na região carregada.

As peças rompidas foram levadas para a oficina, onde foram seccionadas, aplainadas e desengrossadas, mantendo um semi-bloco com duas faces retas e paralelas.

Este processamento foi realizado para que de cada corpo de prova usado na flexão fossem retirados outros quatro corpos de prova, dois de cada extremidade, distando 30 cm do topo ou da base das peças, segundo a norma brasileira de madeiras ABNT NBR 7190:1997. Os corpos de prova foram destinados aos ensaios de compressão paralela às fibras e cisalhamento. A Figura 22 mostra os processos de aplainamento e desengrossamento das peças de madeira e os semi-blocos confeccionados após estes processamentos.

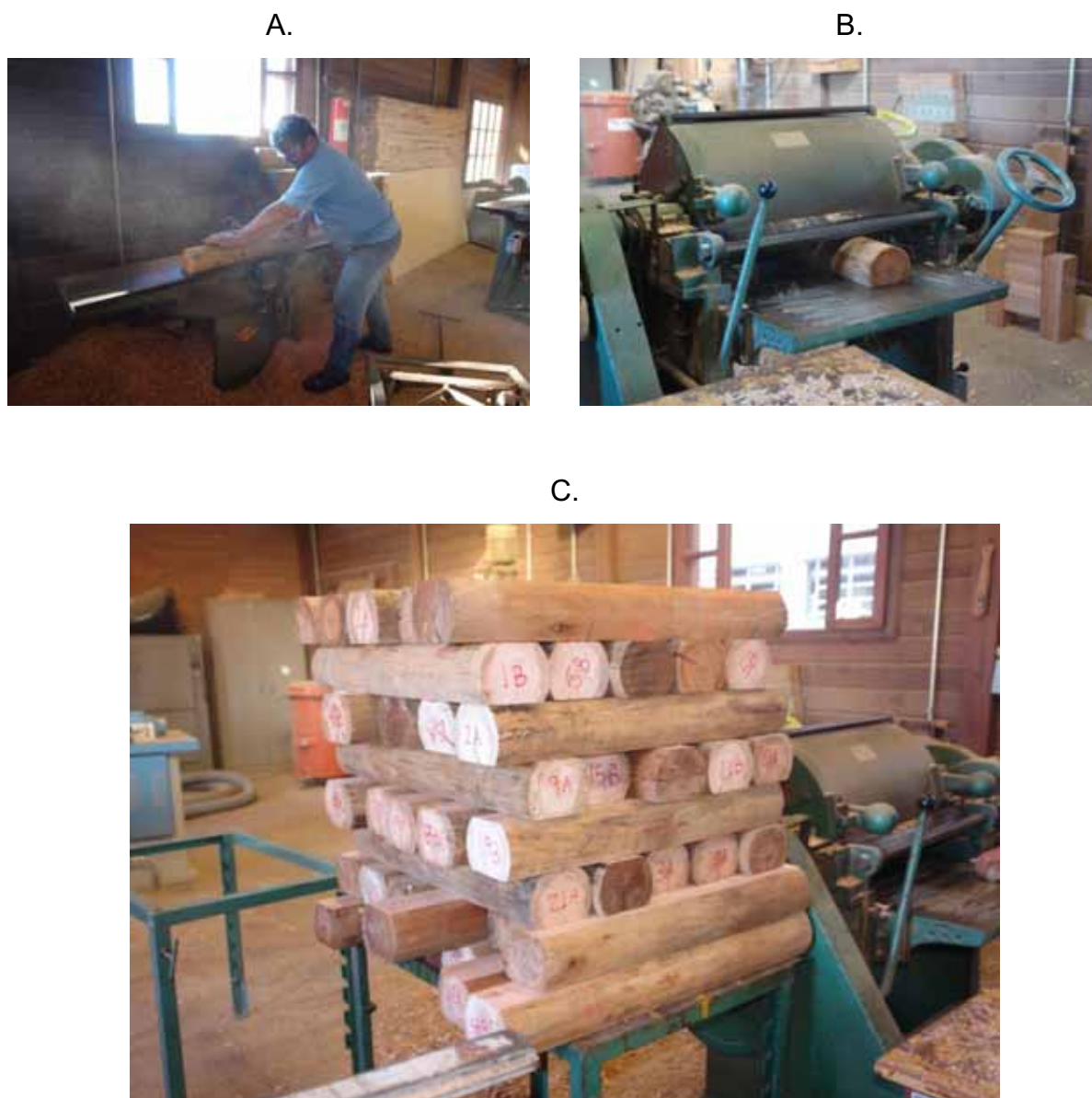


Figura 22: A. Aplainamento; B. Desengrossamento; C. Semi-blocos confeccionados após o processamento das peças.

Depois de confeccionados os semi-blocos foram produzidos os corpos de prova para compressão paralela às fibras e cisalhamento. Para isso, cada corpo de prova foi seccionado com aproximadamente 15 cm de comprimento e numerado.

O segundo sub lote de peças também foi pesado, medido, e classificado visualmente seguindo as orientações descritas previamente e foi destinado a ensaios de tração paralela às fibras.

Para realizar o ensaio de tração, o processamento que deixa as peças com duas faces planas e paralelas, foi feito antes do ensaio. Após levar todas as peças à ruptura, foram retirados corpos de prova para compressão e cisalhamento.

Das peças rompidas na tração foram retirados mais três corpos de prova, um de uma extremidade destinado à compressão paralela e dois da outra utilizados nos ensaios de cisalhamento, distando 30 cm do topo ou da base das toras como indica a norma regulamentadora de madeiras. A Figura 23 mostra o esquema seguido para confeccionar os corpos de prova:



Figura 23: Esquema utilizado para confecção dos corpos de prova de compressão e cisalhamento a partir da peça ensaiada na tração.

Foi decidido proceder desta maneira, pois os ensaios de compressão demandaram muito tempo e a amostra já era considerada representativa com a quantidade de corpos de prova disponíveis.

- **Tração Paralela às Fibras**

O processo de confecção dos corpos de prova foi relativamente simples. As peças para os ensaios de tração tinham dimensões idênticas às iniciais em relação ao comprimento (aproximadamente 2,20m ou 2,50m) e foram processadas com o intuito de deixar duas faces retas e paralelas entre si devido a limitação para a utilização da máquina de ensaios.

Os elementos estruturais de madeira ensaiados na tração apresentaram formatos semelhantes aos das ilustrações contidas nas Figuras 24 e 25.



Figura 24: Vista da seção transversal do corpo de prova usado no ensaio de tração



Figura 25: Vista geral do corpo de prova usado no ensaio de tração.

Os ensaios de tração paralela às fibras foram realizados para determinar a resistência da madeira nesta solicitação. A Equação utilizada neste ensaio foi a Equação (7) descrita na revisão da literatura deste trabalho.

Foram feitas algumas medições na parte reta do topo dos corpos de prova, que se encontrava bastante paralela e 3 (três) medições na região curvada do topo, com a finalidade de, a partir da média aritmética destas 3 medidas, encontrar a área da seção transversal, que sofreu os esforços de tração. Considerou-se, portanto, a seção como sendo retangular com dimensões aproximadas de 7cm x 13cm.

A Figura 26 mostra o equipamento que foi utilizado nos ensaios de tração de elementos estruturais. Neste ensaio a peça estrutural foi conduzida até a ruptura e o valor final da força apresentado no painel da máquina foi dado em kN. A partir deste valor de força fornecido pela máquina de ensaios foi então obtido o valor da resistência à tração do elemento ensaiado dividindo esta força pela área da seção transversal.



Figura 26: Máquina utilizada nos ensaios de tração paralela às fibras.

As Figuras 27A e 27B mostram um corpo de prova ensaiado na tração, antes e depois de aplicada a carga.

A.



B.



Figura 27: Ensaio de tração paralela, A. antes e B. depois de aplicada a carga.

- **Compressão Paralela às Fibras**

É o ensaio realizado para fornecer os valores de resistência (f_{c0}) e rigidez ($E_{c0,m}$) na direção paralela às fibras da madeira, sendo a referência da norma brasileira de madeiras. Na caracterização simplificada de espécies usuais pode-se determinar outros valores de resistência a partir deste. Na Figura 28 têm-se as dimensões aproximadas dos corpos de prova usados neste ensaio e os pontos onde foram feitas as medidas no mesmo.

Neste ensaio foram usados aproximadamente 120 corpos de prova, sendo 96, 9 e 12 advindos de peças côncavas, retas e roliças, respectivamente. Para não perder estas informações, os corpos de prova foram numerados antes do aplainamento de suas faces.

Foi feita esta diferenciação a fim de notar a influência da geometria das toras na resistência e rigidez da madeira, pois na classificação visual observou-se que as peças que eram usinadas (côncavas ou retas) possuíam maior incidência de rachaduras e fendas, muito provavelmente devido à liberação das tensões de crescimento.

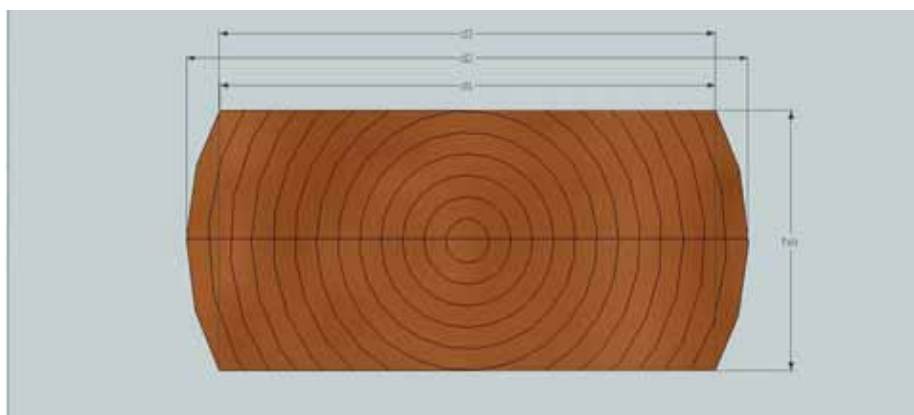


Figura 28: Indica as medições feitas no corpo de prova usado na compressão.

Depois de prontos os corpos de prova, um deles foi ensaiado para se estimar o carregamento que seria utilizado para os demais.

Foram feitas algumas medições na parte reta do topo dos corpos de prova, indicadas na Figura 28, que receberam o nome h_m , pois representam as alturas médias dos corpos de prova. Também foram feitas 3 (três) medições na região curva do topo, d_1 , d_2 e d_3 com a finalidade de, à partir da média aritmética destas 3 medidas (d_m), encontrar a área da seção transversal que sofrerá os esforços de compressão. Considerou-se, portanto, a seção como sendo retangular.

Feito isto, os corpos de prova foram preparados para o ensaio propriamente dito. Neles foram acopladas os apoios (Figura 29A) dos relógios comparadores de 0,001 mm (Figura 29B), a uma distância pré-fixada de 100 mm, segundo a norma regulamentadora ABNT NBR 7190:1997. Os corpos de prova (Figura 29C) sendo dispostos na máquina de ensaios AMSLER e carregados de forma contínua (Figura 29D), sem a realização de ciclos de carregamento.

Os valores de deformação encontrados nos relógios comparadores foram medidos em intervalos de 1000 kgf, ou seja, a cada 1000 kgf de carga aplicada no corpo de prova uma nova leitura era feita nos relógios comparadores. A precisão destes relógios comparadores era de 1μ .

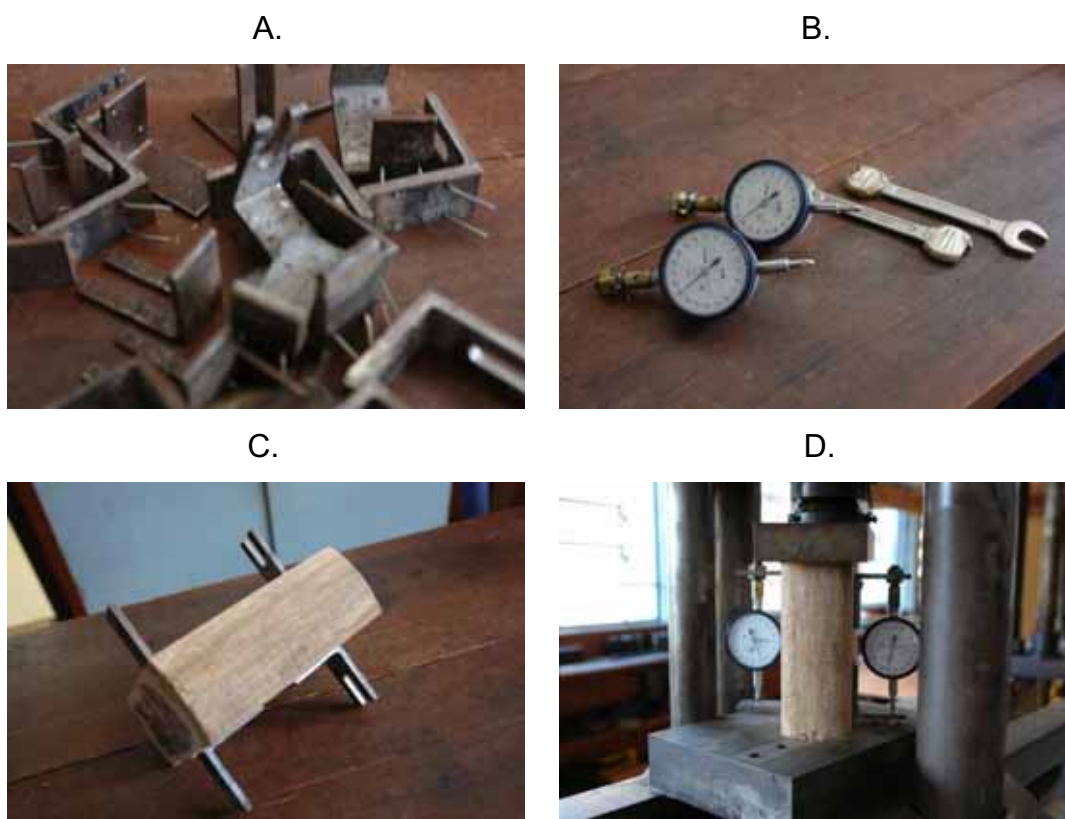


Figura 29: A. apoios metálicos para os relógios; B. relógios comparadores com precisão de 1μ ; C. corpo de prova com apoios acoplados; D. ensaio de compressão paralela às fibras.

Os corpos de prova de compressão, por terem dimensões estruturais maiores que as indicadas na norma ABNT NBR 7190:1997, tiveram que ser rompidos em outra máquina do departamento de estruturas, também da marca AMSLER, mas com maior capacidade de carregamento, como mostra a Figura 30. Depois de realizado o carregamento, os corpos de prova ficaram com a aparência semelhante ao apresentado na Figura 31.



Figura 30: Ensaio de ruptura na compressão paralela às fibras.



Figura 31: Corpo de prova após ser realizado o carregamento até a ruptura.

- **Cisalhamento**

Os corpos de prova utilizados nos ensaios de cisalhamento foram idênticos aos usados na compressão paralela. O que diferenciou um ensaio do outro foi o dispositivo colocado na máquina universal de ensaios e a área a ser considerada no carregamento. Foram feitas medições com o auxílio de um paquímetro na região cisalhante, ou seja, na parte que tende a ser rompida após o carregamento. As Figuras 32 e 33 mostram onde foram feitas as medidas, qual é a região cisalhante a ser considerada e como ficam os corpos de prova após o ensaio.

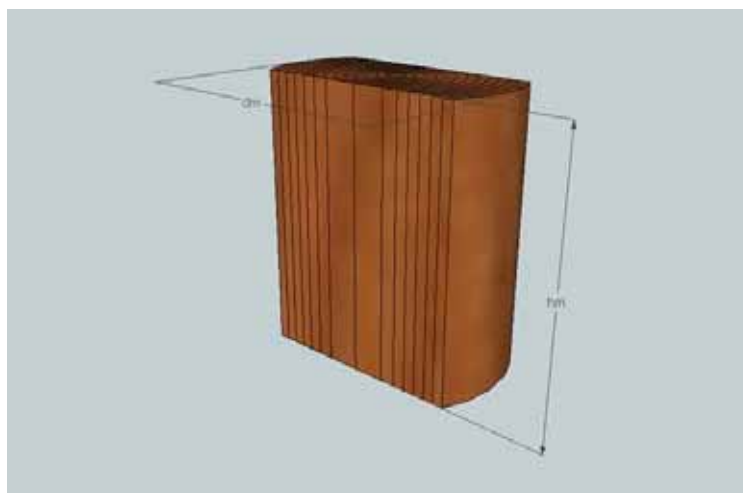


Figura 32: Regiões onde foram feitas as medidas no corpo de prova de cisalhamento.



Figura 33: Área cisalhante considerada no ensaio.

A área cisalhante considerada no ensaio de cisalhamento foi tomada num plano paralelo a direção das fibras da madeira (direção da carga aplicada).

Os detalhes do dispositivo de ensaio de cisalhamento assim como um dos corpos de prova ensaiados são apresentados na Figura 34.



Figura 34: Ensaio de cisalhamento evidenciando o dispositivo utilizado.

Neste ensaio foram usados 156 corpos de prova, sendo 128, 12 e 16 advindos de peças côncavas, retas e roliças, respectivamente. O carregamento era feito de forma contínua, até que fosse atingida a força máxima suportada pelo corpo de prova, que acabava rompendo (Figura 35). A Equação (8) foi usada para calcular a resistência ao cisalhamento paralelo às fibras (f_{v0}).



Figura 35: Corpo de prova de cisalhamento após a ruptura.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os valores de resistência e módulo de elasticidade obtida, sendo calculados segundo o equacionamento proposto na norma ABNT NBR 7190:1997 e já referenciada anteriormente.

Foi analisada visualmente a quantidade de cerne em relação ao alburno para cada tora, sendo que o cerne constituiu aproximadamente 75% do total da seção, evidenciando a porção tratável (alburno) da madeira representa por volta de 25% da seção das peças.

Na classificação visual feita para evidenciar os defeitos e prever os modos de ruptura, realizada segundo o projeto de norma CB – 31:000.17-001, o grau de severidade (Figuras 11 e 12) médio encontrado para os topos das peças foi de 2 e para o corpo das peças de 3.

Para a compressão paralela às fibras (f_{c0}) os resultados são apresentados na Tabela 7, segundo os três tipos de geometria encontrados no lote de madeiras.

Tabela 7: Valores médios de f_{c0} e $E_{c0,m}$ calculados para cada geometria.

	f_{c0} [MPa]	$E_{c0,m}$ [MPa]
Côncavas	35,3	12388
Retas	40,2	12944
Roliças	41,3	13849
Valores Médios	38,9	13060

A partir das médias aritméticas destes resultados, chegou-se ao valor corrigido de f_{c0} segundo a Equação (12) e ao valor corrigido de $E_{c0,m}$ através da Equação (13), como pode-se acompanhar no Quadro 1. Esta adequação foi feita, pois o lote encontrava-se a uma umidade superior ($U=22,1\%$) ao padrão de referência de 12%.

Propriedades	MPa
f_{c0}	50,7
$E_{c0,m}$	15698

Quadro 1: Valores de f_{c0} e $E_{c0,m}$ corrigidos para adequar os resultados.

No ensaio de tração também utilizou-se da mesma premissa para determinar o valor de f_{t0} . As resistências à tração foram obtidas através da Equação (7), feita a média de cada geometria, e por fim a correção do valor ficou novamente por conta da Equação (12).

Tabela 8: Valores médios de f_{t0} calculados para cada geometria.

	f_{t0} [MPa]
Côncavas	39,9
Retas	42,8
Roliças	49,7
Valores Médios	46,6

A Tabela 8 mostra os resultados e o Quadro 2 o valor de f_{t0} corrigido.

Propriedade	MPa
f_{t0}	60,8

Quadro 2: Valor de f_{t0} corrigido para adequar os resultados.

O mesmo procedimento foi utilizado para calcular a resistência ao cisalhamento (f_{v0}), utilizando a Equação (8). Da mesma forma que nos ensaios de compressão e tração, foi necessário que se fizesse uma correção dos valores finais devido aos corpos de prova estarem com o teor de umidade igual a 22,1%. A Tabela 9 mostra os resultados obtidos neste ensaio, e o Quadro 3 mostra o valor corrigido de f_{v0} através da Equação (12).

Tabela 9: Valores médios de f_{v0} calculados para cada geometria.

	f_{v0} [MPa]
Côncavas	5,9
Retas	5,5
Roliças	7,4
Valores Médios	6,3

Propriedade	MPa
f_{v0}	8,2

Quadro 3: Valor de f_{v0} corrigido para adequar os resultados.

No ensaio de flexão calculou-se o MOE e o MOR das peças de madeira caracterizadas. O Módulo de Elasticidade foi calculado através de Equação (11) e o Módulo de Ruptura evidenciado pela Equação (10) adaptada para corpos de prova roliças (Tabela 10).

Tabela 10: Valores médios de MOE e MOR calculados para cada geometria.

	MOE [MPa]	MOR [MPa]
Côncavas	11556	59,7
Retas	13176	76,5
Roliças	14757	97,8
Valores Médios	13163	78,0

Os resultados obtidos foram corrigidos pelas Equações (13 e 12) e estão apresentados no Quadro 4.

Propriedade	MPa
MOE	15822
MOR	101,7

Quadro 4: Valores de MOE e MOR corrigidos para adequar os resultados.

Com os dados obtidos nos ensaios, foi utilizada a Equação (14) para encontrar os valores característicos de compressão paralela às fibras ($f_{c0,k}$) e resistência ao cisalhamento ($f_{v,k}$). Isso foi feito para enquadrar a madeira de *Amaru* em uma das classes de resistência da norma brasileira de madeiras. Foi construída a Tabela 11 e classificou-se o híbrido na Classe D30, pois o valor de referência de norma ($f_{c0,k}$) se enquadrou nesta classe, ou seja, os demais valores não interferiram na classificação da madeira.

Tabela 11: Classe de resistência do *Amaru*

Classe	$f_{c0,k}$ [MPa]	$f_{v,k}$ [MPa]	$E_{c0,m}$ [MPa]	ρ_{ap} [kg/m ³]
D 20	20	4	9500	650
D 30	30	5	14500	800
D 40	40	6	19500	950
D 50	50	7	22000	970
D 60	60	8	24500	1000
<i>Amaru</i>	35,5	5,7	15500	640

Para formular as discussões desta seção foram coletados no Anexo E da norma brasileira de madeiras os valores de resistência e rigidez de espécies de *Eucalyptus*. A principal finalidade desta comparação foi constatar se os resultados obtidos nos ensaios com o híbrido *Amaru* foram ou não satisfatórios em relação aos valores encontrados na literatura. A Tabela 11 apresenta valores da ABNT NBR 7190:1997, assim como a média aritmética dos mesmos e os resultados corrigidos do *Amaru*.

Tabela 12: Valores médios de madeiras de Eucalipto.

Nome comum	Nome científico	ρ_{ap} (kg/m ³)	f_{c0} MPa	f_{t0} MPa	f_{v0} MPa	$E_{c0,m}$ MPa
E. Alba	<i>Eucalyptus alba</i>	705	47,3	69,4	9,50	13409
E. Camaldulensis	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	899	48,0	78,1	9,00	13286
E. Citriodora	<i>Eucalyptus citriodora</i>	999	62,0	123,6	10,70	18421
E. Cloeziana	<i>Eucalyptus cloeziana</i>	822	51,8	90,8	10,50	13963
E. Dunnii	<i>Eucalyptus dunnii</i>	690	48,9	139,2	9,80	18029
E. Grandis	<i>Eucalyptus grandis</i>	640	40,3	70,2	7,00	12813
E. Maculata	<i>Eucalyptus maculata</i>	931	63,5	115,6	10,60	18099
E. Maidene	<i>Eucalyptus maidene</i>	924	48,3	83,7	10,30	14431
E. Microcorys	<i>Eucalyptus microcorys</i>	929	54,9	118,6	10,30	16782
E. Paniculata	<i>Eucalyptus paniculata</i>	1087	72,7	147,4	12,40	19881
E. Propinqua	<i>Eucalyptus propinqua</i>	952	51,6	89,1	9,70	15561
E. Punctata	<i>Eucalyptus punctata</i>	948	78,5	125,6	12,90	19360
E. Saligna	<i>Eucalyptus saligna</i>	731	46,8	95,5	8,20	14933
E. Tereticornis	<i>Eucalyptus tereticornis</i>	899	57,7	115,9	9,70	17198
E. Triantha	<i>Eucalyptus triantha</i>	755	53,9	100,9	9,20	14617
E. Umbra	<i>Eucalyptus umbra</i>	889	42,7	90,4	9,40	14577
E. Urophylla	<i>Eucalyptus urophylla</i>	739	46,0	85,1	8,30	13166
Média Aritmética dos valores		841	53,8	102,3	9,8	15795
Amaru		640	50,7	60,8	8,2	15698

Fonte: Adaptada da ABNT NBR 7190:1997

O gênero composto pelos *Eucalyptus* tem propriedades bastante variadas, porém foi possível comparar os resultados calculados com a média dos valores encontrados na literatura, valores estes que correspondem às espécies mais usuais cultivadas no Brasil atualmente.

A densidade aparente calculada ficou cerca de 25% abaixo da média do valor da literatura, mas encontra-se próxima de espécies conhecidas com *E. grandis*, e *E. dunnii*.

O valor de referência da norma (f_{c0}) ficou pouco abaixo da média dos valores conhecidos e próximo de espécies como *E. cloeziana*, *E. dunnii*, e *E. propinqua*.

A resistência à tração (f_{t0}) atingiu valores inferiores aos encontrados na norma brasileira de madeiras, 40% abaixo do valor da média, sendo inferior ao valor do *E. alba*, valor corresponde a menor resistência à tração encontrado na literatura.

A resistência ao cisalhamento (f_{v0}) encontrou-se próxima aos valores da média e próxima aos valores de espécies como *E. urophylla* e *E. saligna*.

A última propriedade da madeira que pode ser comparada com os valores da norma é o módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras ($E_{c0,m}$), valor que ficou muito próximo da média e da espécie *E. propinqua*.

Nesta caracterização ainda foram calculados os valores do Módulo de Elasticidade na flexão (MOE) e Módulo de Ruptura na flexão (MOR), porém estes valores não são apresentados na tabela presente na ABNT NBR 7190:1997, não possibilitando assim uma comparação direta como foi realizada acima.

A referida norma apresenta relações entre as propriedades da madeira. A razão entre MOE e $E_{c0,m}$ usada para dicotiledôneas deve ser 90% do valor da rigidez calculado na compressão paralela. Portanto, neste sentido o valor do MOE, para ser válida esta relação, deveria ser aproximadamente 14130 MPa, porém o resultado obtido através dos ensaios foi 15822 MPa, 12% acima do cálculo teórico.

5. CONCLUSÕES

Com a dimensão estrutural das peças ensaiadas buscou-se aproximar as reais solicitações encontradas em estruturas de madeira, considerando a presença de defeitos como nós, fendas e rachas, o que influencia significativamente nas propriedades de resistência e rigidez da madeira. Contudo a presença de defeitos não influencia da mesma maneira em todos os ensaios, como por exemplo, no ensaio de compressão e tração paralela, devido ao tipo de solicitação.

A utilização de clones (*Amaru*) aumenta as soluções em estruturas de madeira na construção, pois visando a utilização de materiais renováveis do ponto de vista ambiental, a iniciativa de empresa Plantar é muito bem vista e de grande valia para o futuro da madeira na construção civil.

Os valores de resistência e rigidez obtidos para o *Amaru* a partir de corpos de prova estruturais se aproximaram dos valores propostos pela ABNT NBR 7190:1997 para as espécies de Eucalipto analisadas. Os ensaios de flexão em elementos estruturais não se aproximaram dos valores propostos pela ABNT NBR 7190:1997 mas podem ser melhorados.

Portanto, a utilização da madeira roliça além de consumir menos energia em sua produção se comparada com a madeira serrada, traz garantia da espécie na compra. O plantio de um clone traz homogeneidade e confiabilidade para utilização desta espécie. Os valores obtidos são a base para que engenheiros e arquitetos projetem estruturas de madeira usando a espécie *Amaru*.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Confirmação dos resultados obtidos através de ensaios com corpos de prova padronizados pela norma brasileira de madeiras ABNT NBR 7190:1997.
- Realização de análise estatística dos resultados obtidos para verificação da significância entre as propriedades.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1997). NBR 7190: Projeto de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro. Em revisão.

BARROS FILHO, R. M. **Painéis aglomerados a base de bagaço de cana-de-açúcar e resinas uréia formaldeído e melamina formaldeído**. 2009. 116 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Área de concentração análise e seleção de materiais, REDEMAT, Minas Gerais, 2009.

BAUER, L.A. Falcão. **Materiais de construção 2**. 5. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2012. 538 p.

BERTOLA, Alexandre. **Eucalipto - 100 Anos de Brasil**: “Falem mal, mas continuem falando de mim!”. Disponível em: <http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Eucalipto_100%20anos%20de%20Brasil_Alexandre_Bertola.pdf>. Acesso em: 01 out. 2013.

CABRAL, Rodrigo Queiroz; RAPOZO, Renato. **Manual para Montagem de Estruturas com Sistema Construtivo - AMARU PERFILADO e Acabamento em Osmocolor**. Belo Horizonte: Montana Química S.A., 2010.

CALIL NETO, C. (2011). **Madeira Laminada Colada (MLC): Controle de Qualidade em combinações espécie - adesivo - tratamento preservativo**. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

COUTINHO, J. de S. **Materiais de Construção 1: Madeiras**. [S.l.: s.n., 1999]. Disponível em: < <http://paginas.fe.up.pt/~jcouti/Madeiras%2099.pdf> >. Acesso dia: 29 set. 2012.

ICIMOTO, Felipe Hideyoshi. **Dormentes em madeira laminada colada de pinus oocarpa**. 2012. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência dos Materiais, Universidade de São Paulo - Usp, São Carlos, 2012.

HARA, M. M. **Proposta de método de ensaio para determinação da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras de madeiras mediante esforço induzido por punção do corpo de prova**. Curitiba: UTFPR, 2011. Disponível em: < <http://www.utfpr.edu.br/curitiba/estrutura-universitaria/diretorias/dirppg/programas/ppgec/banco-teses/dissertacoes/2011/Dissertao008PPGEC.pdf> >. Acesso dia: 20 set.. 2013.

JAHNS, Marina Tagliaro. **Avaliação da expressão gênica diferencial entre folhas e tecidos vasculares de eucalyptus grandis**. 2008. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Ufrgs, Porto Alegre, 2008.

JUNIOR, L. S., GARCIA, J. N. **Determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus urophylla***. Scientia Forestalis, Revista Árvore, Viçosa-MG, v.34, n.5, p.929-936, 2010.

MACHADO, N. C. de C. M. **Variação dimensional da madeira devida ao seu comportamento higroscópico**. Portugal, 2006. Disponível em: <<http://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/12372/2/Texto%20integral.pdf>>. Acesso dia: 30 set. 2013.

MESKAU, R. **Determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Morus nigra* e potenciais aptidões de uso**. Curitiba: UFPR, 2010. Disponível em: <http://www.pecca.com.br/espelho/indmad/tccs/renan_meskau.pdf>. Acesso dia: 20 set. 2013.

MORESCHI, J. C. **Propriedades da Madeira**. Manual didático, 3 ed, Curitiba: UFPR, 2010. p132-134.

NAHUZ, M. A. (2004). **Atividades industriais com madeiras de Pinus – atualidades e desafios**. São Paulo: Divisão de Produtos Florestais – IPT. Disponível em: <<http://www.ufsm.br/cepef/artigos/Atividades%20industriais%20com%20madeiras%20de%20Pinus.pdf>>. Acesso em: 01 out. 2013.

OKINO, E. Y. A. *et al.* (2008). Propriedades de chapas OSB de *Eucalyptus grandis* e de *Cupressus glauca*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 36, n. 78, p.123 - 131.

OLIVEIRA, J. T. da S., FIEDLER, N. C., NOGUEIRA, M. **Tecnologias Aplicadas ao Setor Madeireiro II**. Vitória, ES: Aquarius, 2007.

PEREIRA J. C. D. *et al.* (2000). Características da madeira de algumas espécies de Eucalipto plantadas no Brasil. **Comunicado Técnico EMBRAPA Florestas**, Colombo, n. 38, p.1-112.

PLANTAR EMPREENDIMENTOS E PRODUTOS FLORESTAIS. **Produtos florestais (amaru)**. Disponível em: <<http://www.plantar.com.br/negocios/produtos-florestais/?&lang=pt>>. Acesso em: 01 out. 2013.

PLANTAR EMPREENDIMENTOS E PRODUTOS FLORESTAIS. **Serviços florestais**. Disponível em: <<http://www.plantar.com.br/negocios/servicos-florestais/?&lang=pt>>. Acesso em: 15 out. 2013.

ROCHA, Márcio Pereira Da. **Eucalyptus grandis Hill ex Maiden e Eucalyptus dunnii Maiden como Fontes de Matéria Prima para Serrarias**. 2000. 186 f. Tese (Doutorado) - Ufpr, Curitiba, 2000.

RODRIGUES, Rodrigo Augusto Dias. **Viabilidade de propriedades físico-mecânicas em lotes de madeira serrada de eucalipto para a construção civil**. 2002. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Esalq/usp, Piracicaba, 2002.

SOUZA, Celso Coelho de *et al.* **Técnicas De Sensoriamento Remoto Como Subsídios Aos Estudos De Florestas Implantadas No Brasil – Uma Revisão Bibliográfica**. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. , p.409-417, out-dez 2007.

TRUGILHO, P. F., LIMA, J. T., MENDES, L. M. **Influencias da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*.** Lavras: UFLA, [199-]. Disponível em: < [http://www.dcf.ufla.br/cerne/artigos/16-02-20099844v2_n1_artigo% 2009.pdf](http://www.dcf.ufla.br/cerne/artigos/16-02-20099844v2_n1_artigo%202009.pdf)>. Acesso dia: 30 set. 2013.

VALVERDE, Sebastião Renato *et al.* O comportamento do mercado da madeira de eucalipto no Brasil. **Renabi: biomassa e energia**, Viçosa, v. 1, n. 4, p.393-403, 2004. Anual.