

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

VERÔNICA TODESCO

**ESTUDO DE COMPÓSITOS DE MADEIRA COM REFORÇO
EM BAMBU PARA UTILIZAÇÃO EM MOBILIÁRIO**

Itapeva - SP
2010

VERÔNICA TODESCO

**ESTUDO DE COMPÓSITOS DE MADEIRA COM REFORÇO
EM BAMBU PARA UTILIZAÇÃO EM MOBILIÁRIO**

Trabalho de Graduação apresentado no Campus Experimental de Itapeva - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", como requisito para a conclusão do curso de Engenharia Industrial Madeireira.

Orientador: Prof^ª. Dr^ª. Juliana Cortez Barbosa
Co-Orientador: Prof^ª. Dr^ª. Elen Aparecida Martines Morales

Itapeva - SP
2010

T637e Todesco, Verônica.
Estudo de compósitos de madeira com reforço em bambu para utilização em mobiliário/ Verônica Todesco. -- Itapeva, 2010.
57 f.: il.

Trabalho de Graduação do Curso Engenharia Industrial Madeireira apresentado ao Campus Experimental de Itapeva – UNESP, 2010
Orientador: Profª. Drª. Juliana Cortez Barbosa.
Banca examinadora: Prof. Dr. Alexandre Jorge Duarte de Souza; Eng. Waldemar Gehring Jr.
Inclui bibliografia

1. Madeira. 2. Mobiliário. 3. Bambu. I. Título. II. Itapeva - Curso de Engenharia Industrial Madeireira.

CDD 674.83

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca da UNESP- Campus Experimental de Itapeva

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

**ESTUDO DE COMPÓSITOS DE MADEIRA COM REFORÇO
EM BAMBU PARA UTILIZAÇÃO EM MOBILIÁRIO**

VERÔNICA TODESCO

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. José Cláudio Caraschi
Coordenador de Curso

BANCA EXAMINADORA:

Prof^a. Dr^a. Juliana Cortez Barbosa
Orientadora – 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

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais Aroldo e Avani pelo incondicional apoio durante a minha vida.

Aos meus irmãos Sandra, Giovanni e Enzo por todo o incentivo.

Ao Igor por estar sempre ao meu lado em todos os momentos e sobre tudo pelo carinho durante estes anos. Nada fará sentido para mim sem o amor e o carinho que nós compartilhamos.

As minhas companheiras de república e pensão, em especial a Isabella e Mariana por toda a amizade.

A minha orientadora Juliana Cortez e co-orientadora Elen Morales pela orientação e apoio para a realização deste trabalho.

Aos alunos Vinicius “Texugo” e Karina pela ajuda para a confecção dos corpos-de-prova, pois sem a ajuda de vocês isto não seria possível.

Aos técnicos da UNESP, principalmente ao “Brito”, por toda paciência e colaboração indispensável neste trabalho.

A serraria ALENA por doar as peças de madeira para a realização do trabalho.

E a todos aqueles que, de alguma maneira, contribuíram para a elaboração deste trabalho.

“Podemos escolher recuar em direção à segurança ou avançar em direção ao crescimento. A opção pelo crescimento tem que ser feita repetidas vezes. E o medo tem que ser superado a cada momento”

Abraham Maslow

RESUMO

O bambu vem sendo estudado em função de suas características mecânicas peculiares e inúmeras possibilidades de uso, além de ser uma gramínea de rápido crescimento e de ciclo curto de corte. Este trabalho teve como objetivo a análise das características mecânicas do material composto madeira-bambu, onde as amostras foram desenvolvidas a partir da associação de lâminas de bambu como reforço estrutural em peças maciças de pinus e em peças de painel EGP. A espécie de madeira utilizada foi *Pinus taeda*, sendo o bambu das espécies *Dendrocalamus giganteus* e *Guadua angustifolia*. Todo o trabalho foi realizado na Universidade Estadual Paulista – Campus Experimental de Itapeva no laboratório de Propriedades Físicas e Mecânicas da Madeira. Foram realizados ensaios de densidade aparente e tração paralela às fibras das espécies de bambu utilizadas e ensaios de flexão estática dos compósitos visando o uso deste na indústria moveleira. Para a realização dos ensaios foram utilizadas como base às prescrições do documento normativo NBR 7190/97. Os valores obtidos nos ensaios mostraram um incremento significativo na resistência e rigidez quando comparados aos das peças sem reforço, onde se obteve incremento no MOE e MOR na flexão estática em todos os corpos-de-prova. Os resultados mostraram a possibilidade de redução de seções nos componentes de mobiliário e a possibilidade de melhorar as propriedades mecânicas de peças com defeitos encontrados na madeira de Pinus da região de Itapeva/SP.

Palavras-chave: Bambu. Pinus. EGP. Reforço. Indústria Moveleira.

ABSTRACT

Bamboo has been studied because of its peculiar mechanical properties and numerous possibilities of use, besides being a fast-growing grass and short cutting cycle. This study aimed to analyze the mechanical characteristics of wood-bamboo composite material, where the samples were developed from the combination of layers of bamboo as a structural reinforcement in solid pieces of pine and EGP panel parts. The species of wood used was *Pinus taeda*, and the bamboo species *Guadua angustifolia* and *Dendrocalamus giganteus*. All work was conducted at the Universidade Estadual Paulista - UNESP in the laboratory of Physical and Mechanical Properties of Wood. Tests including the density and tension parallel to grain of the bamboo species used and the static bending of composites in order to use this in the furniture industry. For the tests have been used as a basis the requirements of the normative document NBR 7190/97. The values obtained in the tests showed a significant increase in strength and stiffness compared to unreinforced parts, where there was an increase in MOE and MOR in static bending in all specimens used in evidence. The results showed the possibility of reducing sections in furniture components and the possibility of improving the mechanical properties of parts with defects found in wood of Pinus Itapeva region of São Paulo.

Keywords: Bamboo. Pinus. EGP. Reinforcement. Furniture Industry

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Tipos de rizoma	17
FIGURA 2 – Seção do colmo de bambu e suas denominações	18
FIGURA 3 – Distribuição dos elementos anatômicos do bambu	19
FIGURA 4 – Tipos de corte do colmo do bambu	23
FIGURA 5 – Processamento dos colmos para obtenção das lâminas.....	25
FIGURA 6 – “EGP” painel de peças de madeira coladas lateralmente.....	27
FIGURA 7 – Seção transversal de peças de pinus reforçado com bambu	28
FIGURA 8 – Serra circular destopadeira de bancada.....	32
FIGURA 9 – Serra circular e apoio para peças roliças	32
FIGURA 10 – Serra fita	32
FIGURA 11 – Desengrossadeira.....	32
FIGURA 12 – Lâminas de bambu	32
FIGURA 13 – Serra circular destopadeira	33
FIGURA 14 – Desengrossadeira.....	33
FIGURA 15– Tupia utilizada como lixa.....	34
FIGURA 16 – Corpos-de-prova de tração paralela às fibras do bambu.....	34
FIGURA 17 – Dimensões do corpo-de-prova de tração	34
FIGURA 18 – Prensagem dos corpos-de-prova	35
FIGURA 19 – Corpos-de-prova de EGP com reforço de bambu <i>Guadua angustifolia</i>	36
FIGURA 20 – Seção transversal do material composto de EGP com reforço de bambu.....	36
FIGURA 21 – Material composto viga maciça com reforço de bambu.....	37
FIGURA 22 – Corpos-de-prova do material composto viga maciça com reforço de bambu.....	37
FIGURA 23 – Ensaio de tração paralela às fibras	39
FIGURA 24 – Ensaio de flexão estática	40
FIGURA 25 – Corpos-de-prova após ensaio de tração paralela às fibras dos bambus.....	43
FIGURA 26 – Gráfico comparativo entre os valores médios de módulos de ruptura dos corpos-de-prova com e sem reforço de bambu (EGPh e EGPv)	46

FIGURA 27 – Gráfico comparativo entre os valores médios de módulos de elasticidade dos corpos-de-prova com e sem reforço de bambu (EGPh e EGPv)	46
FIGURA 28 – Aspecto do rompimento em um corpo-de-prova com reforço de bambu.....	47
FIGURA 29 – Aspecto do rompimento nos corpos-de-prova de referência de EGP sem reforço de bambu.....	47
FIGURA 30 – Gráfico comparativo entre os valores médios de módulos de elasticidade dos corpos-de-prova com e sem reforço de bambu (MACG e MACD).....	50
FIGURA 31 – Gráfico comparativo entre os valores médios de módulos de ruptura dos corpos-de-prova com e sem reforço de bambu (MACG e MACD).....	50
FIGURA 32 – Aspecto do rompimento em um corpo-de-prova de madeira maciça com reforço de bambu	51
FIGURA 33 – Aspecto do rompimento nos corpos-de-prova de madeira maciça sem reforço de bambu	51

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Composição química do bambu e de madeira de fibra longo.....	19
TABELA 2 – Valores médios de módulo de elasticidade (MOE), módulo de ruptura (MOR) e densidade do <i>Pinus taeda</i>	26
TABELA 3 – Valores de resistência para a bambu <i>Dendrocalamus giganteus</i>	28
TABELA 4 – Resultado obtido nos ensaios mecânicos do bambu laminado colado associado à madeira	29
TABELA 5 – Dados obtidos no ensaio de densidade aparente dos bambus	42
TABELA 6 – Dados obtidos nos ensaios de tração paralela às fibras do Bambu .	43
TABELA 7 – Dados obtidos nos ensaios de flexão estática do material composto EGP com linha de cola horizontal e com reforço de bambu <i>G. angustifolia</i> (EGPh)	44
TABELA 8 – Dados obtidos nos ensaios de flexão estática do material composto EGP com linha de cola vertical e com reforço de bambu <i>G. angustifolia</i> (EGPv).	45
TABELA 9 – Dados obtidos nos ensaios de flexão estática para peças de madeira serrada de pinus	47
TABELA 10 – Dados obtidos nos ensaios de flexão estática do material composto madeira maciça com Bambu <i>Guadua angustifolia</i> (MACG).....	48
TABELA 11 – Dados obtidos nos ensaios de flexão estática do material composto madeira maciça com Bambu <i>Dendrocalamus giganteus</i> (MACD).	49
TABELA 12 – Valores médios de MOE, MOR e densidade do <i>Pinus taeda</i> x Compósito de madeira-bambu.	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIMCI	Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente
CP	Corpo-de-prova
EGP	Edge Glued Panel
EGPh	CP de EGP com linha de cola horizontal e com reforço de Bambu <i>Guadua angustifolia</i>
EGPhR	CP de EGP com linha de cola horizontal sem reforço
EGPv	CP de EGP com linha de cola vertical e com reforço de Bambu <i>Guadua angustifolia</i>
EGPvR	CP de EGP com linha de cola vertical sem reforço
MACD	CP de madeira maciça com reforço de Bambu <i>Dendrocalamus giganteus</i>
MACG	CP de madeira maciça com reforço de Bambu <i>Guadua angustifolia</i>
MACr	CP de madeira maciça sem reforço
NBR	Norma Brasileira
PVA	Acetato de Polivinila

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS.....	15
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
3.1 Bambu	16
3.1.1 Características gerais do bambu	17
3.1.2 Características físicas e mecânicas do bambu	20
3.1.3 Descrição da espécie <i>Dendrocalumus giganteus</i>	21
3.1.4 Descrição da espécie <i>Guadua angustifolia</i>	21
3.1.5 Processo de obtenção das lâminas de bambu.....	22
3.1.5.1 Corte dos colmos.....	22
3.1.5.2 Cura e secagem do bambu.....	23
3.1.5.3 Tratamentos químicos para aumentar a durabilidade do bambu.....	24
3.1.5.4 Processamento dos colmos e laminação das taliscas.....	24
3.2 <i>Pinus taeda</i>	25
3.2.1 Produção do EGP em pinus	26
3.3 Bambu laminado colado.....	27
3.4 Reforços em madeira.....	28
4 MATERIAIS E MÉTODO.....	30
4.1 Materiais e equipamentos utilizados	30
4.1.1 Bambu	30
4.1.2 <i>Edge Glued Panel</i> (EGP).....	30
4.1.3 Adesivo.....	31
4.2 Método.....	31
4.2.1 Usinagem do Bambu	31
4.2.2 Usinagem das peças de madeira maciça e EGP	33
4.2.3 Produção dos corpos-de-prova para ensaio de tração paralela das lâminas de bambu	33
4.2.4 Produção dos corpos-de-prova com reforço em bambu	35
4.2.4.1 Corpos-de-prova compostos de bambu <i>Guadua angustifolia</i> e peças de EGP.....	36
4.2.4.2 Corpos-de-prova composto de bambu e madeira maciça.	37

4.2.5 Ensaio físico e mecânico	38
4.2.5.1 Determinação da densidade aparente do bambu.....	38
4.2.5.2 Ensaio de tração paralela às fibras	38
4.2.5.3 Ensaio de flexão estática	40
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
5.1 Densidade aparente dos bambus	42
5.2 Ensaio de tração paralela às fibras dos bambus	42
5.3 Ensaio de flexão estática dos compósitos de madeira-bambu	44
5.3.1 Bambu <i>Guadua angustifolia</i> e peças de EGP	44
5.3.2 Bambus <i>Guadua angustifolia</i> e <i>Dendrocalamus giganteus</i> associados a peças de madeira maciça.....	48
6. CONCLUSÃO	53
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

1 INTRODUÇÃO

Devido o aumento desenfreado do consumo dos recursos naturais, a madeira vêm se tornando cada vez mais escassa, acarretando assim, graves problemas ambientais. Com isso, têm sido buscadas opções que visem à diminuição desses impactos, utilizando materiais renováveis alternativos que possam substituir os já existentes.

O bambu, fonte renovável com alto potencial econômico, talvez seja uma proposta alternativa eficaz para substituir a madeira em processos industriais. Apresenta um ciclo de corte curto, baixo custo de cultivo, altos valores de resistência mecânica e módulo de elasticidade na flexão estática e tração paralela às fibras, podendo ser utilizado na construção civil e no setor moveleiro.

Apesar de suas propriedades mecânicas, o bambu tem sido pouco empregado industrialmente no Brasil devido à geometria do seu colmo e sua heterogeneidade entre espécies e mesmo entre indivíduos.

Um dos fatores que impedem o progresso nas pesquisas com relação às características do bambu está na falta de normalização para a avaliação de seu comportamento físico-mecânico. Portanto torna-se difícil a comparação entre estudos, pois na maioria das vezes são utilizadas as normas técnicas para madeira, realizando-se algumas adaptações.

Com o aumento da produção no mercado moveleiro e na demanda de madeiras reflorestadas de pinus, a utilização do bambu em conjunto com a madeira e seus derivados pode-se mostrar uma alternativa viável e econômica.

Uma das vantagens da utilização do bambu em relação ao pinus é que por ser uma gramínea o mesmo não necessita de replantio, é de rápido crescimento e tem alta produção de biomassa.

Uma das possíveis aplicações do compósito madeira bambu é na fabricação de peças de pinus reforçadas com lâminas de bambu. O presente estudo visa avaliar as propriedades mecânicas deste compósito para seu possível aproveitamento na indústria moveleira.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é analisar as características mecânicas do compósito de madeira-bambu, apresentando as variações de suas propriedades em função da disposição e espessura das lâminas de bambu utilizadas como reforço estrutural para madeiras juvenis, com alguns defeitos, de baixa densidade, e para painéis de madeira do tipo EGP (*Edge Glued Panels*).

2.2 Objetivos específicos

- Estabelecer metodologia para a produção de lâminas de bambu;
- Estabelecer metodologia para a produção de amostras para avaliação da resistência mecânica e módulo de elasticidade à flexão estática em peças maciças de pinus e de EGP de pinus reforçados com bambu;
 - Reforçar com bambu peças de madeira com defeito, visando aumentar as propriedades mecânicas das peças;
 - Estudar peças do compósito de madeira-bambu visando à aplicação na produção de móveis.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Bambu

Espécies nativas de bambu são amplamente disseminadas no Japão, China, Índia e em praticamente todos os países do sudeste asiático. Embora em número menor de espécies, o bambu ocupa também áreas consideráveis na África e na América do Sul (CIARAMELLO e AZZINI, 1971).

Segundo Moizés (2007) no Brasil o bambu é utilizado em estruturas de casas e em objetos em geral, aplicado na forma natural (colmos), vinculado a tradições indígenas e aos imigrantes orientais. Já no Japão, China e Índia sua utilização não está somente restrita as formas naturais, mas na sua utilização na fabricação de pisos laminados, painéis laminados e derivados.

De acordo com Embaye (2000), o bambu fornece bens e serviços úteis à humanidade, sendo utilizado como uma fonte de alimentos, forragens, mobiliário, materiais de construção, papel, painéis de partículas, energia e medicina. Segundo o autor, também desempenha um papel vital na melhoria do ambiente, preservação da biodiversidade e conservação do solo.

É um seqüestrador de carbono, protege o solo da erosão e pode ser cultivado de modo similar a muitas espécies arbóreas em reflorestamentos para fins industriais. Não existe uma definição exata sobre a produtividade alcançada pelo bambu, pois depende da espécie, solo, clima e tratos culturais, apresentando valores anuais na ordem de 10t/ha a 30t/ha (CARDOSO, 2008).

A produtividade de biomassa de bambu varia de 10-20t/ha, enquanto a madeira tem uma produtividade de biomassa de 21-25t/ha. A produtividade é similar, pois a velocidade de crescimento do bambu é mais rápido, podendo efetuar o corte a partir de quatro anos de idade do colmo (YU,2007).

3.1.1 Características gerais do bambu

Segundo Liese (1998) o bambu é uma gramínea lenhosa, monocotiledônea, e pertencente às Angiospermas. Produz colmos assexuadamente através dos seus rizomas. Yu (2007) classifica o bambu quanto à forma de crescimento vegetativo dos rizomas em dois tipos: os que formam touceiras, chamados de paquimorfos ou simpodiais onde os principais gêneros que representam esse tipo de bambu são *Bambusa*, *Dendrocalamus* e *Guadua*. O segundo tipo é constituído por bambus alastrantes que não formam touceiras conhecidos como leptoformos ou monopodiais (Figura 1).

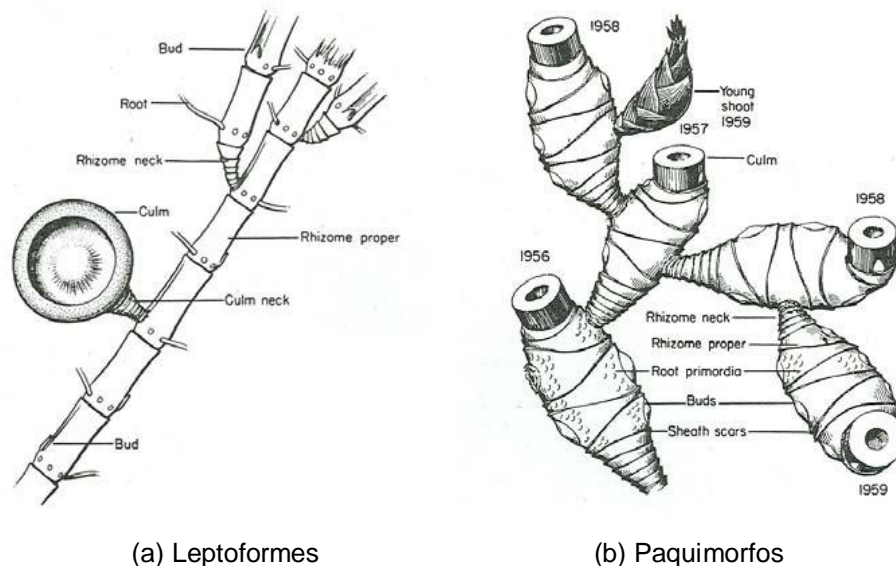


Figura 1 - Tipos de rizoma.
Fonte: McClure (1966, apud Yu 2007).

Assim como a maioria das plantas, o bambu constitui-se por uma parte subterrânea (raízes e rizomas) e uma parte aérea (colmos, galhos e folhas). O rizoma tem papel fundamental no desenvolvimento do bambu, pois armazena nutrientes para posterior distribuição e é o órgão responsável pela sua propagação. O nascimento e o crescimento de novos colmos ocorre pela ramificação dos rizomas e é proporcional à nutrição fornecida pelo mesmo e pelos colmos mais velhos (BARELLI, 2009).

De acordo com Cardoso (2008) o colmo do bambu tem forma tubular cônica segmentada, pois é oco, com nós e seu diâmetro diminui da base até o topo. Os

espaços dentro do colmo são denominados cavidades, que são separados umas das outras por diafragmas, que externamente aparecem como nós, de onde saem ramos e folhas. A porção do colmo entre os dois nós é chamado de internó como mostra a Figura 2. Segundo Beraldo et al. (1998) a quantidade de nós e de interno e vazios existentes nos colmos variam, principalmente, com a espécie e diâmetro dos colmos.

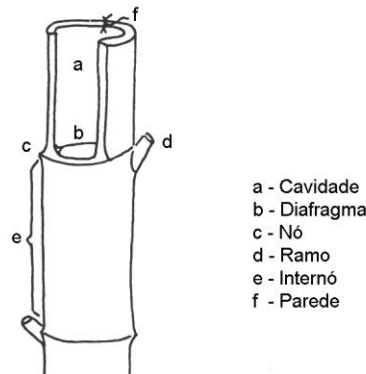


Figura 2 - Seção do colmo de bambu e suas denominações.
Fonte: Janssen (1988, apud Moizés 2007).

Liese (1998) observa que o colmo e as paredes dos entrenós reduzem de tamanho a partir da base à ponta do bambu. Isto está associado com uma diminuição no número total de feixes vasculares e um aumento da sua densidade.

O componente estrutural mais variado do colmo do bambu é o conjunto vascular. De acordo com os autores os conjuntos vasculares integram os tecidos de condução da seiva e a sua forma, tamanho e distribuição varia no internó e ao longo do comprimento do colmo (GHAVAMI E MARINHO, 2005).

O tecido de um colmo é composto por células de parênquima, feixes vasculares e pelas fibras. Segundo Azzini et al. (1987) o colmo de bambu é composto de 40% de tecido fibroso, 50% de tecido de parênquima e 10% de tecidos condutores.

A estrutura do bambu em geral pode ser encarada como sendo um material compósito constituído, a grosso modo, por feixes de longas fibras de celulose alinhadas longitudinalmente, unidas por uma substância aglutinante, a lignina (MURAD, 2007).

De acordo com Liese (1998), na zona periférica do bambu, os feixes vasculares são menores e mais numerosos e na zona interna são maiores e menos numerosos, na Figura 3 pode-se observar esta distribuição dos elementos

anatômicos. O material entre os pontos escuros é chamado de parênquima, e é a matriz na qual as fibras são incorporadas (JANSSEN, 2000).

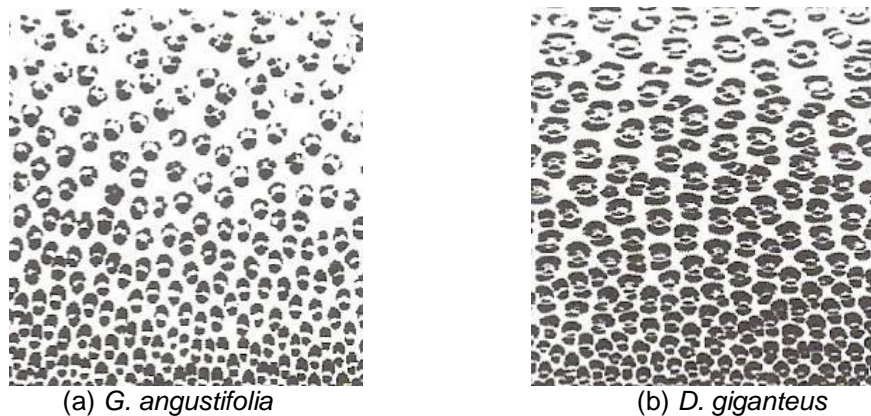


Figura 3 - Distribuição dos elementos anatômicos do bambu.
Fonte: Pereira e Beraldo (2007).

Pereira e Beraldo (2007) destacam que a região mais escura (feixes de fibras) mostrada na parte inferior da Figura 3, corresponde à região mais próxima da casca, que tem maior resistência mecânica em comparação com a parte superior.

Moizés (2007) descreve que o bambu é de uma cultura predominantemente tropical, renovável, e perene, ou seja, sem a necessidade de replantio de produção anual, de rápido crescimento (colmos) o que o torna apto no desenvolvimento sustentável. Segundo Yu (2007) dentro de um período de 2 a 4 meses o bambu *Phyllostachys pubescens* (Mosso) pode atingir uma altura de 15-30 metros, com um diâmetro de 5-15cm e uma espessura de 10mm.

De acordo com Yu (2007) o bambu é composto principalmente de celulose, hemicelulose e lignina, semelhantes às espécies arbóreas, diferenciando-se nos percentuais conforme podem ser vistos na Tabela 1.

Tabela 1 - Composição química do bambu e de madeira de fibra longa.

	Celulose (%)	Hemicelulose (%)	Lignina (%)
Bambu	55	25	20
Madeira de fibra longa	50	25	25

Fonte: Janssen (1981, apud Yu 2007).

Pereira e Beraldo (2007) descrevem que a proporção de lignina e de carboidratos varia durante o período de maturação do colmo, mas após um ano a composição química tende a ser constante.

3.1.2 Características físicas e mecânicas do bambu

O bambu, por ser um material natural, apresenta uma série de fatores que influenciam suas características e propriedades, tais como: espécie, idade, tipo de solo, condições climáticas, época de colheita, teor de umidade das amostras, localização das mesmas em relação ao comprimento do colmo, presença ou ausência de nós nas amostras testadas e tipo do ensaio aplicado (GHAVAMI e MARINHO, 2005). De acordo com Murad (2007) a idade, a espécie e região do colmo são importantes variáveis para a determinação de suas propriedades.

Segundo Moizés (2007) o bambu possui resistências à flexão, tração e compressão muito superiores a outros materiais naturais, e pode fornecer resultados mais satisfatórios dessas características quando é agregado com adesivos. Rivero (2003) destaca que a resistência mecânica é função primordial das fibras.

O bambu é um material que possui baixa massa específica e uma alta resistência mecânica e essa relação diferencia o bambu dos outros materiais estruturais. Deixa a estrutura mais leve, levando o peso próprio a tornar-se uma parcela considerável no carregamento, como materiais mais densos, como o concreto (MURAD, 2007).

Yu (2007) destacou que se comparado ao aço, concreto e a madeira o bambu tem muitas vantagens, como resistência, elasticidade e leveza, mas também desvantagens, como a sua estrutura de tubo, excelente para cargas de tração, porém difícil de ser tratada com pregos e parafusos, normalmente utilizados na madeira.

Segundo Culzoni (1986, apud Ghavami e Marinho 2005) a estrutura fibrosa do bambu, em feixes, proporciona resistência a esforços de tração paralela, mas em virtude das fibras estarem imersas em uma matriz de lignina, nas tortuosidades dos feixes e nas mudanças de seções, geralmente nos nós, onde se interrompem as

fibras, reduzem-se as áreas resistentes e se originam, na peça, solicitações secundárias de compressão normal, cisalhamento ou fendilhamento, às quais o material oferece menor resistência (GHAVAMI e MARINHO, 2005).

3.1.3 Descrição da espécie *Dendrocalamus giganteus*

De acordo com Nogueira (2008) o gênero *Dendrocalamus* apresenta os colmos de maior espessura de parede e de comportamento mecânico superiores a outras espécies. Nesse gênero tem-se a espécie *Dendrocalamus giganteus*.

O *Dendrocalamus giganteus*, conhecido vulgarmente por “bambu gigante” é provavelmente a espécie que produz os maiores colmos, com mais de 20 metros de altura, diâmetro em torno de 20 cm, paredes de 1 a 3 cm e internódios de 30 a 45 cm. Esta espécie ocorre naturalmente na Tailândia, Burma, Índia e Ceilão, nos quais é largamente empregada em usos domésticos, na alimentação e também na produção de papel (CIARAMELLO e AZZINI, 1971).

3.1.4 Descrição da espécie *Guadua angustifolia*

Os bambus do gênero *Guadua* ocorrem naturalmente em diversos países da América do Sul, servindo seus colmos para importantes aplicações, tais como moirões, postes etc. Entretanto, pouco se sabe sobre suas potencialidades para utilização industrial, que está cada vez mais preocupada com o futuro suprimento de matérias-primas (AZZINI et al., 1977).

Nos estudos feitos por Ghavami e Marinho (2005) verificou-se que os valores da resistência do bambu *Guadua angustifolia* são menores que os do bambu *Dendrocalamus giganteus*, observando-se uma diferença de 43,8% na resistência à tração, 41,6% na resistência à compressão e 60% na resistência ao cisalhamento.

3.1.5 Processo de obtenção das lâminas de bambu.

Nos itens a seguir serão descritos o processo de obtenção das lâminas de bambu, desde o processo de corte até a usinagem das taliscas/ripas.

3.1.5.1 Corte dos colmos

De acordo com Rivero (2003) os bambus devem ser cortados no inverno, quando encontram-se com baixa quantidade de seiva elaborada e os insetos estão em hibernação. Pereira e Beraldo (2007) destacam que o corte deve ocorrer na estação seca, pois os colmos apresentam menor teor de umidade, diminuindo seu peso para o transporte, propiciando menor quantidade de seiva circulando, tornando-o menos atrativo para o ataque de insetos e fungos.

O corte dos colmos deve ocorrer depois dos três anos, pois é a partir desta idade que o bambu alcança sua resistência máxima. Segundo Silva (2005) até os seis anos há um aumento na resistência do colmo à tração e compressão e até os oito anos na resistência à flexão, após esta idade ocorre uma diminuição nas características dos colmos.

Segundo Rivero (2003) a idade do corte é importante e depende da espécie que será utilizada e do uso final. Para elementos estruturais, deve-se utilizar somente colmos maduros e completamente lignificados. Para as espécies bambu gigante (*D. giganteus*) e guadua (*G. angustifolia*), o corte é indicado de três à seis anos no máximo.

Segundo Yu (2007) o corte dos colmos do bambu não deve ser superior a 25% do total de colmos, a fim de manter a produtividade da floresta estável. O bambu deve ser cortado cerca de 30 centímetros acima do nível do solo, para não destruir o rizoma e um pouco acima do nó para evitar a deposição da água, conforme ilustra a Figura 4.

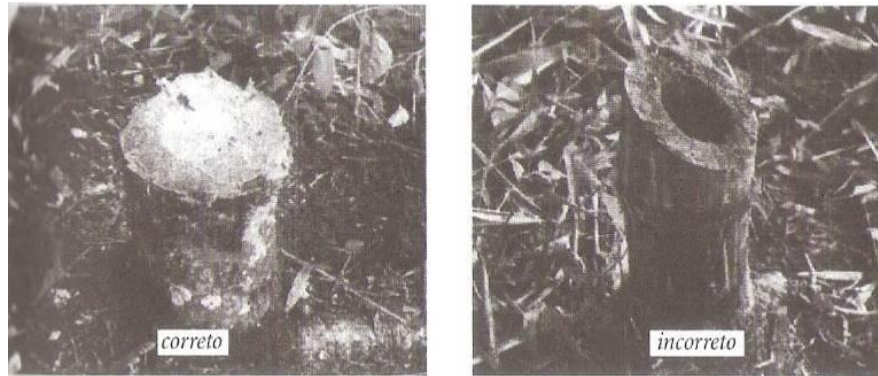


Figura 4 - Tipos de corte do colmo do bambu.
 Fonte: Vargas (1991, apud Pereira e Beraldo 2007).

3.1.5.2 Cura e secagem do bambu

De acordo com Silva (2005) após o corte, os colmos devem ser submetidos a tratamentos de “cura” para torná-los mais resistentes ao ataque do caruncho. A cura é um tratamento de secagem que consiste na expulsão da seiva que contém glicose e amido, que são atrativos para pragas e fungos.

Segundo Pereira e Beraldo (2007) os principais tipos de cura são: cura ou maturação na mata, num período de quatro a oito semanas; cura pela imersão em água, colmos submersos em água; cura pela ação do fogo, “penteando” o bambu com a chama; e cura pela ação da fumaça, ‘defumação’ do colmo.

Para Beraldo et al (1998) a secagem natural não depende apenas das condições ambientais, mas também das características ligadas a espécie, podendo necessitar de até 3 meses para atingir o equilíbrio com o ambiente.

De acordo com Yu (2007), a vantagem destes modos de tratamento tradicionais é que são de fácil processo e baixo custo, mas os mesmos possuem desvantagens como a baixa eficiência se comparados com o tratamento químico.

3.1.5.3 Tratamentos químicos para aumentar a durabilidade do bambu

A durabilidade do bambu está diretamente ligada à forma de tratamento que o colmo receberá e à destinação do uso. Em condições naturais, a sua durabilidade se limita a dois anos, tornando-se, portanto, fundamental o processo de tratamento (RIVERO, 2003).

Azzini et al. (1978) destacam que a principal limitação no uso do bambu no meio rural é sua baixa durabilidade natural, devido ao ataque de insetos furadores e fungos. De acordo com a crença popular, pode-se também diminuir os ataques ocasionados pela broca, colhendo os bambus na fase minguante da Lua.

Segundo Espelho e Beraldo (2008) atualmente são utilizados dois tipos de substâncias para o tratamento químico dos colmos do bambu, o “borato de cobre cromatado” (CCB) e uma combinação do ácido bórico com o bórax (um sal à base de boro).

Basicamente, no tratamento de imunização contra insetos (xilófagos), são utilizados produtos como: Querosene; Sais de Boro; CCB (Cobre, Cromo e Boro); PENTOX, sendo os colmos pulverizados ou imersos em tanques (MOIZÉS, 2007).

3.1.5.4 Processamento dos colmos e laminação das taliscas

Após a etapa de tratamento dos colmos de bambu, os mesmos são processados para a obtenção das lâminas. Em sua pesquisa Nogueira (2008) seguiu os seguintes passos para a obtenção das lâminas, conforme Figura 5.



(a) Colmo sendo seccionado no sentido longitudinal por uma serra circular.



(b) Separação das metades com um machado.



(c) Transformação do material em ripas em uma serra circular (operação perigosa).



(d) Retirada do diafragma em uma lixadeira.



(e) Processamento das taliscas na plaina desengrossadeira, para obtenção das lâminas.

Figura 5 - Processamento dos colmos para obtenção das lâminas.

Fonte: Nogueira (2008).

3.2 *Pinus taeda*

No Brasil, a utilização de *Pinus sp* (de reflorestamentos) na indústria madeireira vem crescendo nos últimos anos. As estimativas indicam que do volume de madeira serrada produzida no País, aproximadamente 18 milhões de m³, mais de 35% é formado de madeira de *Pinus sp* (BALLARIN e PALMA, 2003).

Segundo Nahuz (2004) 15% da madeira serrada produzida no Brasil, é destinada à indústria de móveis e, deste total, um terço é proveniente de florestas de pinus. Ainda segundo o autor esta demanda tende a crescer, defrontando com um

sério obstáculo o esperado déficit na produção de madeira de pinus para serraria e para a indústria moveleira.

Ballarin e Palma (2003), em sua pesquisa analisaram as propriedades mecânicas da madeira juvenil de *Pinus taeda*. Os ensaios de flexão estática foram realizados de acordo com as prescrições normativas da NBR 7190/1997. Os valores obtidos estão mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores médios de módulo de elasticidade (MOE), módulo de ruptura (MOR) e densidade do *Pinus taeda*.

	MOE (MPa)	MOR (MPa)	Dens. 12% (g/cm³)
Média	10.894	87,03	0,536
Desvio Padrão	2.426	18,71	0,058
CV(%)	22,3	21,5	10,7

Fonte: Ballarin e Palma (2003).

Morales (2002), numa pesquisa sobre os ciclos de carregamento no ensaio de flexão estática, entre outros, conduzidos de acordo com as prescrições do documento normativo NBR 7190/1997, obteve os valores médios de módulos de elasticidade iguais a 9.147 MPa, 10.836 MPa e 10.995 MPa para as espécies *Pinus caribaea*, *P. elliottii* e *P. hondurensis*, respectivamente.

3.2.1 Produção do EGP em pinus

EGP é a sigla em inglês de *Edge Glued Panel* (Painel Colado Lateral). Iwakari (2005) define o EGP como sendo um painel composto de sarrafos colados lateralmente e unidos nos topos através de *finger-joints*, conforme ilustra a Figura 6.

A maior parte da produção nacional de EGP é feita em madeira de Pinus, embora sejam encontrados painéis colados lateralmente fabricados em madeira de folhosas tropicais e em madeira de Eucalipto (ABIMCI, 2004). Os painéis de EGP são utilizados principalmente na fabricação de peças e partes de móveis.

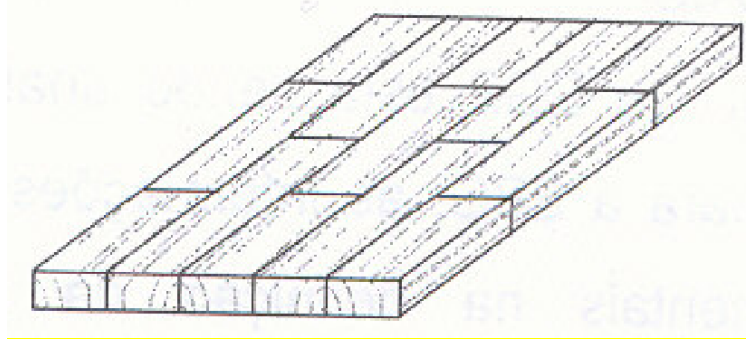


Figura 6 - “EGP” painel de peças de madeira coladas lateralmente.
Fonte: ABIMCI (2004).

3.3 Bambu laminado colado

Segundo Pereira e Beraldo (2007) poucos estudos foram realizados no Brasil para Bambu Laminado Colado, sendo que a dificuldade encontrada pelos autores refere-se a falta de equipamentos para usinar adequadamente o bambu.

Labo e Beraldo (2008) estudaram as características do bambu laminado colado utilizando a espécie *Dendrocalamus giganteus* com 3 anos de idade e o adesivo poliuretano à base de óleo de mamona. Para a confecção dos corpos-de-prova utilizaram as especificações do documento normativo de ensaios aplicados à madeira NBR-7190/97. As dimensões dos corpos-de-prova para flexão estática foi de 20 x 20 x 300mm e adotaram um vão para ensaio de 270mm. Já para o ensaio de compressão paralela as dimensões foi de 20 x 20 x 50mm. Para tais ensaios não foram retiradas as partes dos nós dos colmos.

Já Rivero (2003) estudou as características do bambu laminado colado utilizando as espécies *Dendrocalamus giganteus*, com idade de cinco anos, não utilizou a região dos nós, e dois tipos de adesivos comerciais CASCOPHEN RS-216-M e CASCAMITE 5-H. As lâminas de bambu apresentavam dimensões médias de 25 mm de largura e 300 mm de comprimento e foram utilizados dois tipos de tratamento (tratamento químico e tratamento em água). Para os ensaios utilizou as recomendações do documento normativo NBR 7190/97. Os corpos-de-prova para flexão estática apresentaram dimensões de 25 x 30 x 300mm e para os ensaios de compressão simples apresentaram dimensões de 25 x 30 x 50mm.

Os resultados obtidos pelos autores para a espécie de bambu *Dendrocalamus giganteus* estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores de resistência para a bambu *Dendrocalamus giganteus*.

Autor	Módulo de Ruptura MOR (MPa)	Módulo de Elasticidade MOE (GPa)	Resistência a Ruptura (MPa)
Labo e Beraldo (2008)	121,4	18,4	42,6 à 72,4
Rivero (2003)	72,57	5,713	33,44 à 47,25

3.4 Reforços em madeira

Segundo Yu (2007) devido às características do bambu como, crescimento rápido, fácil cultivo e excelentes propriedades mecânicas, as pesquisas de sua utilização industrial vêm recentemente aumentando.

Apesar deste incremento, há ainda poucos estudos a respeito da aplicação do bambu como reforço em estruturas de madeira. Pode-se observar alguns resultados de seu emprego na fabricação de compósitos, tais como: bambu laminado colado e contraplacado, vigas de madeira maciça reforçadas com lâminas de bambu, bambu como reforço em OSB e aglomerado, entre outros.

Lima e Dias (2001) desenvolveram um estudo avaliando as características do bambu laminado colado associado à madeira maciça de *Pinus elliottii* conforme Figura 7.

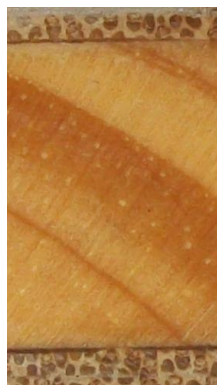


Figura 7 - Seção transversal de peças de pinus reforçado com bambu.

Os autores utilizaram a espécie de bambu *Dendrocalamus giganteus* cortados com 2 e 3 anos de idade e resina a base de resorcinol. Para a confecção dos corpos-de-prova de flexão estática buscaram manter as relações dimensionais sugeridas pelo documento normativo NBR-7190/97. Ensaíram duas séries, sendo que na série um e na série dois as dimensões do corpo-de-prova foram 30 x 80 x 1000mm e 30 x 60 x 1000mm respectivamente. Na Tabela 4 são mostradas os valores obtidos pelos autores.

Tabela 4 – Resultado obtido nos ensaios mecânicos do bambu laminado colado associado à madeira.

Corpo-de-prova	Série 1			Série 2	
	V1	V2	V3	V4	V5
Substituição da madeira por bambu	25,00%	37,50%	16,60%	33,30%	50,00%
Aumento da Rigidez	20%	50%	47,60%	72,40%	91,60%
Módulo de ruptura	-	-	67 MPa	78 MPa	93 MPa

Fonte: Lima e Dias (2001).

4 MATERIAIS E MÉTODO

Para o presente trabalho foram confeccionados corpos-de-prova a partir da associação de lâminas de bambu com madeira maciça e EGP.

4.1 Materiais e equipamentos utilizados

Os materiais e equipamentos utilizados foram: EGP, madeira maciça, bambu, adesivo PVA (Acetato de Polivinila), serra circular, serra fita, desengrossadeira, destopadeira, paquímetro digital, balança digital, pincéis, grampo de marceneiro (sargento) e máquina universal de ensaios EMIC, com capacidade de 30 toneladas.

4.1.1 Bambu

Foram utilizadas as espécies de bambu, *Dendrocalamus giganteus* e *Guadua angustifolia*, com idade de 3 à 6 anos e procedentes da região de Bauru-SP e Manduri-SP, respectivamente.

Os bambus secaram em temperatura ambiente por um período de 2 meses. Após a secagem passaram por um tratamento químico com PENTOX, para evitar o ataque de broca *Dinoderus minutus*.

4.1.2 Edge Glued Panel (EGP)

Os painéis de EGP foram doados por uma indústria da região de Itapeva-SP. Os mesmos foram confeccionados a partir da madeira da espécie *Pinus taeda*.

4.1.3 Adesivo

Para a confecção dos corpos-de-prova foi utilizado a cola de PVA (Acetato de Polivinila) da marca Cascorez.

4.2 Método

O método utilizado será descrito nos tópicos a seguir, de acordo com as etapas de usinagem do bambu, usinagem das peças de madeira maciça e EGP, produção dos corpos-de-prova com reforço de bambu e ensaios físicos e mecânicos.

4.2.1 Usinagem do Bambu

Os bambus foram usinados no Laboratório de Processamento da Madeira, localizado no Campus Experimental da UNESP de Itapeva, SP. O processo de usinagem do bambu seguiu os seguintes passos:

- Destopo em serra circular destopadeira de bancada - corte transversal (Figura 08);
- Desdobro em serra circular de mesa (corte longitudinal), utilizando um apoio desenvolvido para usinagem de peças roliças para a retirada das taliscas (Figura 09);
- Retirada dos diafragmas utilizando uma serra fita (Figura 10);
- Beneficiamento das taliscas em uma desengrossadeira (Figura 11) para a remoção da casca e uniformização das espessuras das lâminas (Figura 12).



Figura 8 - Serra circular destopadeira de bancada.



Figura 9 - Serra circular e apoio para peças roliças.



Figura 10 - Serra fita.



Figura 11 - Desengrossadeira.



Figura 12 - Lâminas de bambu.

Observa-se que as espessuras das lâminas variaram de 0,3 a 0,4mm, sendo assim necessário calcular a porcentagem de bambu em relação à madeira. Os nós não foram retirados para a confecção dos corpos-de-prova.

4.2.2 Usinagem das peças de madeira maciça e EGP

As peças de madeira maciça e EGP apresentaram dimensões de 70 x 70 x 1200mm, as mesmas foram usinadas para se adequar as especificações do documento normativo NBR 7190/1997. Adotou-se como base este documento devido à falta de uma norma específica para o compósito de madeira-bambu.

As peças foram passadas pela serra circular destopadeira (Figura 13) para o ajuste no comprimento, desempenadeira para regularizar duas faces e depois por uma plaina desengrossadeira (Figura 14) para o ajuste na largura e espessura.



Figura 13 - Serra circular destopadeira.



Figura 14 - Desengrossadeira.

4.2.3 Produção dos corpos-de-prova para ensaio de tração paralela das lâminas de bambu

As lâminas de bambu já usinadas, com espessura de 5mm, passaram por uma serra circular para padronização do comprimento. Após o corte foram lixadas em uma tupa utilizando um rebole montado com lixa n. 60 (Figura 15), para a confecção dos 14 corpos-de-prova. Destas 7 eram da espécie *G.angustifolia* (Figura 16.a) e os demais da espécie *D. giganteus* (Figura 16.b).



Figura 15 - Tupia utilizada como lixa.



(a) *G. angustifolia*.

(b) *D. giganteus*.

Figura 16 - Corpos-de-prova de tração paralela às fibras do bambu.

Utilizou-se como base para a produção dos corpos-de-prova o trabalho de Pereira e Greco (2010), sendo que as dimensões utilizadas foram 5 x 20 x 300mm e espessura central de 2,5mm conforme (Figura 17).

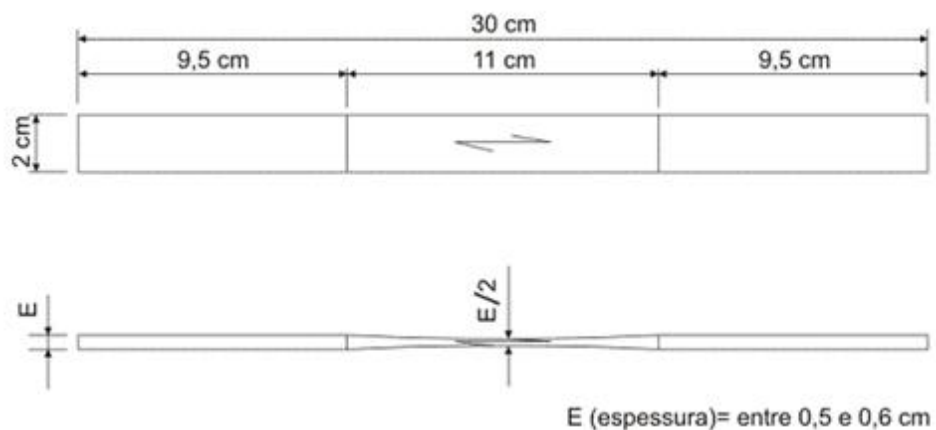


Figura 17 - Dimensões do corpo-de-prova de tração.
Fonte: Pereira e Greco (2010).

4.2.4 Produção dos corpos-de-prova com reforço em bambu

O compósito de madeira-bambu foi confeccionado a partir da colagem das lâminas de bambu nas peças de pinus, onde as fibras do bambu foram dispostas paralelamente no sentido longitudinal das peças. As lâminas de bambu foram coladas na superfície superior e inferior das peças de madeira. Observa-se que as faces internas do bambu (menor densidade) é que receberam o adesivo e foram fixadas na madeira.

Os materiais foram colados com o auxílio de um pincel e prensados a frio utilizando grampos de marceneiro (sargento), conforme Figura 18. As peças secaram a temperatura ambiente por 48 horas e após este processo, foram usinadas novamente utilizando uma desempenadeira para padronização dos corpos-de-prova.



Figura 18 -Prensagem dos corpos-de-prova.

4.2.4.1 Corpos-de-prova compostos de bambu *Guadua angustifolia* e peças de EGP

Foram confeccionados 12 corpos-de-prova do compósito com dimensões finais de 50 x 50 x 1150mm, de acordo com as prescrições do documento normativo NBR 7190/1997, conforme Figura 19.



Figura 19 - Corpos-de-prova de EGP com reforço de bambu *Guadua angustifolia*.

Como em uma produção de alta escala a posição da linha de cola do EGP pode variar, dos 12 corpos-de-prova confeccionados, 6 foram orientados na linha de cola do EGP no sentido vertical, e nos outros 6 no sentido horizontal, como mostram as Figura 20 (a) e (b), respectivamente.



(a) EGP com linha de cola vertical e com reforço de bambu.



(b) EGP com linha de cola horizontal e com reforço de bambu.

Figura 20 - Seção transversal do material composto de EGP com reforço de bambu.

4.2.4.2 Corpos-de-prova composto de bambu e madeira maciça.

Foram confeccionados 12 corpos-de-prova do compósito com dimensões finais de 50 x 50 x 1150mm de acordo com as prescrições normativas do documento NBR 7190/1997, conforme Figura 21. Dos 12 corpos-de-prova confeccionados, 6 foram produzidos com a espécie de bambu *G. angustifolia* e os outros 6 com *D. giganteus*.



Figura 21 - Material composto viga maciça com reforço de bambu.

As peças de madeira maciça utilizada para a produção dos corpos-de-prova apresentavam alguns nós e medula o que pode ser visto na Figura 22. Teve-se o cuidado de distribuir de maneira semelhante as peças de pinus com a mesma quantidade de nós e medulas para serem reforçadas com as duas espécies de bambu, de modo a não influenciar os resultados.



(a) *G. angustifolia*.

(b) *D. giganteus*.

Figura 22 - Corpos-de-prova do material composto viga maciça com reforço de bambu.

4.2.5 Ensaio físicos e mecânicos

Foram realizados ensaios de densidade e tração paralela às fibras das espécies de bambu *G.angustifolia* e *D. giganteus*, e ensaios de flexão estática do compósito de madeira com reforço de bambu.

4.2.5.1 Determinação da densidade aparente do bambu

A determinação da densidade aparente foi feita de acordo com as prescrições normativas do documento NBR 7190/1997, fazendo algumas adaptações.

É definida pela razão entre a massa e o volume, e é determinada conforme a Equação 1.

$$\rho_{ap} = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Onde:

ρ_{ap} é a densidade aparente (Kg/m³)

m é a massa do corpo-de-prova (Kg)

V é o volume do corpo-de-prova (m³)

4.2.5.2 Ensaio de tração paralela às fibras

Foram realizados os ensaios para a determinação da resistência (f_{to}) e o módulo de elasticidade (E_{co}) do bambu à tração paralela às fibras. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Propriedades da Madeira, localizado no Campus Experimental da UNESP de Itapeva, SP.

Os corpos-de-prova foram testados em uma máquina universal de ensaios da marca EMIC, com capacidade para 30 toneladas, dotada de sistema automatizado para aquisição de dados e um extensômetro (Figura 23) para aferir o deslocamento e calcular o Módulo de Elasticidade.



Figura 23 - Ensaio de tração paralela às fibras.

A resistência a tração paralela às fibras é dada pela Equação (2).

$$f_{to} = \frac{F_{to,max}}{A} \quad (2)$$

Onde:

f_{to} é a resistência a tração paralela às fibras (MPa);

$F_{to,Max}$ é a máxima força de tração aplicada ao corpo-de-prova durante ensaio, em Newton (N);

A é a área inicial da seção transversal tracionada do trecho central do corpo-de-prova, em metro quadrado (m²).

A rigidez do bambu, na direção paralela às fibras, é caracterizada pelo Módulo de Elasticidade E_{to} , e é determinada pela Equação (3).

$$E_{to} = \frac{\sigma_{50\%} - \sigma_{10\%}}{\epsilon_{50\%} - \epsilon_{10\%}} \quad (3)$$

Onde:

$\sigma_{10\%}$ e $\sigma_{50\%}$ são as tensões de tração correspondentes a 10 e 50% da resistência f_{to} ;

$\epsilon_{10\%}$ e $\epsilon_{50\%}$ são as deformações específicas de tração medidas no trecho central do corpo-de-prova alongado, correspondendo às tensões de $\sigma_{10\%}$ e $\sigma_{50\%}$, respectivamente.

4.2.5.3 Ensaio de flexão estática

Foram realizados ensaios de flexão estática para a determinação do MOR (Módulo de Ruptura) e MOE (Módulo de Elasticidade) do compósito madeira-bambu. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Propriedades da Madeira, localizado no Campus Experimental da UNESP de Itapeva, SP.

Os corpos-de-prova foram medidos e pesados, em seguida, testados em uma máquina universal de ensaios da marca EMIC, com capacidade para 30 toneladas e dotada de sistema automatizado para aquisição de dados. Os testes de flexão estática foram realizados segundo as prescrições normativas do documento NBR 7190/1997, onde o vão adotado foi igual a vinte e uma vezes a espessura do corpo-de-prova, conforme Figura 24.



Figura 24 - Ensaio de flexão estática.

A rigidez do compósito à flexão é caracterizada pelo Módulo de Elasticidade (MOE), onde para a determinação do mesmo utilizou-se a Equação 4.

$$MOE = \frac{(F_{m,50\%} - F_{m,10\%}) * l^3}{(v_{50\%} - v_{10\%}) * 4 * b * h^3} \quad (4)$$

Onde:

$F_{m,10\%}$ e $F_{m,50\%}$ são as cargas correspondentes a 10% e 50% da carga máxima estimada, aplicado no corpo-de-prova, em Newton (N);

$v_{10\%}$ e $v_{50\%}$ são os deslocamentos no meio do vão correspondente a 10% e 50% da carga máxima estimada, em metro (m);

b é a largura da seção transversal do corpo-de-prova, em metro (m);

h é a altura da seção transversal do corpo-de-prova, em metro (m).

A resistência do compósito a flexão é dada pelo Módulo de Ruptura (MOR). Para a determinação do MOR utilizou-se a Equação 5.

$$MOR = \frac{3 * P * l}{2 * b * h^2} \quad (5)$$

Onde:

P é o carregamento máximo, em Newton (N);

L é o vão livre entre apoios, em metro (m);

b é a largura da seção transversal do corpo-de-prova, em metro (m);

h é a altura da seção transversal do corpo-de-prova, em metro (m).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Densidade aparente dos bambus

A Tabela 5 apresenta os valores médios da densidade dos bambus, com os desvios padrões (σ) e coeficientes de variação (CV). Sendo que a densidade varia consideravelmente em relação a altura do colmo, as amostras foram retiradas aleatoriamente ao longo de todo seu comprimento. Desta maneira, obteve-se uma média da densidade das espécies utilizadas para a produção dos corpos-de-prova.

Tabela 5 – Dados obtidos no ensaio de densidade aparente dos bambus.

	<i>G.angustifolia</i>	<i>D. giganteus</i>
Densidade (Kg/m ³)	645,89	772,73
σ (Kg/m ³)	17,41	6,92
CV (%)	0,027	0,009

De acordo com Liese (1998) a densidade dos bambus encontram-se dentro da faixa de 500 Kg/m³ à 800 Kg/m³, portanto os valores obtidos estão dentro da faixa encontrada na literatura.

Pereira (2006) encontrou para a espécie *D. giganteus* uma densidade aparente de 880Kg/m³. Portanto, a densidade do *D. giganteus* obtida neste trabalho foi inferior a encontrada nessa literatura.

5.2 Ensaio de tração paralela às fibras dos bambus

A Tabela 6 mostra os valores médios da resistência (f_{t0}) e módulo de elasticidade (E_{t0}) no ensaio de tração paralela às fibras do bambu.

Tabela 6 - Dados obtidos nos ensaios de tração paralela às fibras do Bambu.

	<i>G. angustifolia</i>	<i>D. giganteus</i>
f_{to} (MPa)	135,27	223,38
E_{to} (MPa)	19096,60	18301,60

Os dados da Tabela 6 mostram que a resistência à tração do bambu *D. giganteus* foi superior ao *G. angustifolia* em 65%. Observa-se que este resultado obtido foi superior ao encontrado por Ghavami e Marinho (2005) onde a diferença entre as espécies foi de apenas 43,8%.

Os valores de módulo de elasticidade obtidos para *Dendrocalamus* foram próximos aos obtidos para o *Guadua*, sendo que os valores do *Dendrocalamus* foram compatíveis aos resultados obtidos por Pereira (2006), de 18.300 MPa. Já os valores obtidos para o módulo de elasticidade do *Guadua* foram superiores ao de Pereira e Greco (2010) de 11.270 MPa,

Na análise dos aspectos visuais entre os corpos-de-prova ensaiados, pode-se observar que em 50% das amostras de *Guadua*, houve o rompimento total. Já no *Dendrocalamus* não houve o rompimento total das peças em nenhum corpo-de-prova, conforme pode ser observado na Figura 25.

(a) *G. angustifolia*.(b) *D. giganteus*.

Figura 25 - Corpos-de-prova após ensaio de tração paralela às fibras dos bambus.

5.3 Ensaio de flexão estática dos compósitos de madeira-bambu

5.3.1 Bambu *Guadua angustifolia* e peças de EGP

A Tabela 7 e 8 mostram os valores das densidades dos corpos-de-prova, dos módulos de ruptura e de elasticidade e da porcentagem de reforço do material composto, com as médias (M), desvios padrões (σ), coeficientes de variação (CV) e incremento nos valores de MOR e MOE (I) dos dados, no ensaio de flexão estática.

Tabela 7 - Dados obtidos nos ensaios de flexão estática do material composto EGP com linha de cola horizontal e com reforço de bambu *G. angustifolia* (EGPh).

CP	Reforço de Bambu (%)	Densidade (Kg/m ³)	MOR (MPa)	MOE (MPa)
EGPh1	17,04	600,00	61,30	9542,00
EGPh2	16,69	539,00	70,30	8727,00
EGPh3	12,60	502,00	47,00	8089,00
EGPh4	18,35	641,00	71,00	10426,00
EGPh5	17,82	540,00	63,10	9145,00
EGPh6	17,08	579,00	69,80	10275,00
M (MPa)	16,60	566,83	63,75	9367,33
σ (MPa)	2,05	49,89	9,15	902,08
CV (%)	12,34	8,80	14,35	9,63
I (%)			12,80	46,40
EGPhR ¹	0,00	460,00	55,60	5024,00

¹ Os corpos-de-prova EGPhR e EGPvR referem-se aos corpos-de-prova de referência, ou seja, somente EGP.

Tabela 8 - Dados obtidos nos ensaios de flexão estática do material composto EGP com linha de cola vertical e com reforço de bambu *G. angustifolia* (EGPv).

CP	Reforço de Bambu (%)	Densidade (Kg/m ³)	MOR (MPa)	MOE (MPa)
EGPv1	16,09	602,00	68,30	9560,00
EGPv2	13,47	540,00	- ²	9287,00
EGPv3	11,69	519,00	- ²	10719,00
EGPv4	16,13	650,00	83,40	10413,00
EGPv5	14,49	537,00	98,30	11673,00
EGPv6	15,35	586,00	78,90	11214,00
M (MPa)	14,54	572,33	82,23	10.478,00
σ (MPa)	1,72	49,47	12,45	927,00
CV (%)	11,86	8,64	15,14	8,84
I (%)			16,10	27,30
EGPvR ¹	0,00	460,00	69,00	7621,00

Os dados da Tabela 7 e 8 mostram que os valores de MOR e MOE nas peças EGPv foram superiores do que nas peças EGPh, tanto com reforço quanto sem reforço.

Outro resultado é que os valores dos módulos de ruptura e de elasticidade na flexão estática do material reforçado foram ligeiramente superiores aos encontrados nos corpos-de-prova de referência, em ambas as direções (vertical e horizontal).

Em todos os corpos-de-prova do material reforçado observou-se incrementos na resistência e na rigidez, em ambas as direções.

Observa-se que houve um aumento proporcional dos valores de MOR e MOE à medida que se aumentava a porcentagem de reforço de bambu, porém alguns corpos-de-prova apresentaram comportamento distinto em função da concentração e posição de anéis de crescimento do pinus.

Os valores obtidos foram compatíveis com os de Lima e Dias (2001) e, em algumas peças, os incrementos na rigidez foram superiores aos encontrados por eles, com porcentagens menores de reforços de bambu, o que talvez possa ser explicado pela diferença entre os materiais (EGP x madeira maciça e bambu *Guadua x Dendrocalamus*).

² Estes corpos-de-prova não foram levados a ruptura, pois foram utilizados como corpos-de-prova de referência após a retirada do reforço de bambu.

A Figura 26 mostra um gráfico comparativo entre os valores médios de módulos de ruptura dos corpos-de-prova com e sem reforço de bambu (EGPh e EGPv).

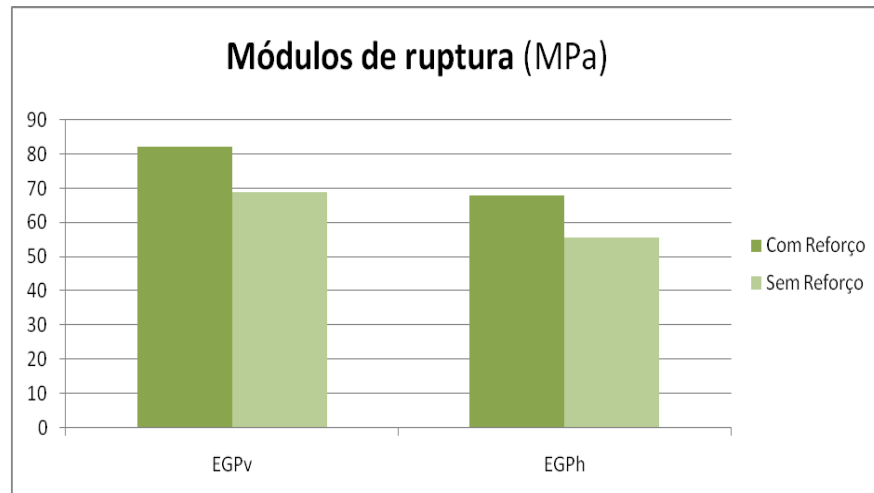


Figura 26 - Gráfico comparativo entre os valores médios de módulos de ruptura dos corpos-de-prova com e sem reforço de bambu (EGPh e EGPv).

A Figura 27 mostra um gráfico comparativo entre os valores médios de módulos de elasticidade dos corpos-de-prova com e sem reforço de bambu (EGPh e EGPv).

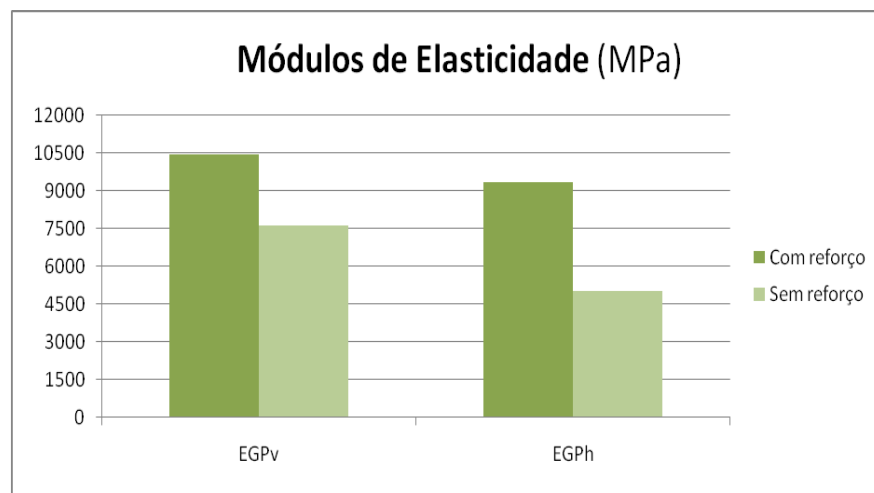


Figura 27 - Gráfico comparativo entre os valores médios de módulos de elasticidade dos corpos-de-prova com e sem reforço de bambu (EGPh e EGPv).

Na análise dos aspectos visuais entre os corpos-de-prova ensaiados pode-se observar que as lâminas de reforço de bambu evitaram que houvesse a separação total das partes (Figuras 28 e 29).



Figura 28 - Aspecto do rompimento em um corpo-de-prova com reforço de bambu.



Figura 29 - Aspecto do rompimento nos corpos-de-prova de referência de EGP sem reforço de bambu.

Outros fatos importantes observados durante a condução dos ensaios foram que não houve descolamento na linha de cola, tanto no EGP quanto entre o bambu e as peças de EGP e que todos os rompimentos ocorreram nos nós das lâminas de bambu, nos reforços inferiores, os quais foram solicitados à tração, mesmo não estando alinhados na posição central dos corpos-de-prova, conforme a Figura 28.

Deve se destacar também que, embora a análise proposta inicial do material composto ser relativa à aplicação no mobiliário, os valores de MOE encontrados foram compatíveis com os obtidos por Morales (2002) em peças de madeira serrada de pinus utilizados em elementos estruturais (Tabela 9), apesar de os adesivos utilizados não serem os usuais para aplicações estruturais.

Tabela 9 - Dados obtidos nos ensaios de flexão estática para peças de madeira serrada de pinus.

Espécie	MOE (MPa)
<i>Pinus caribaea</i>	9.147
<i>P. elliottii</i>	10.836
<i>P. hondurensis</i>	10.995

Fonte: Morales (2002).

5.3.2 Bambus *Guadua angustifolia* e *Dendrocalamus giganteus* associados a peças de madeira maciça

A Tabela 10 e 11 mostram os valores das densidades aparentes dos corpos-de-prova (pinus e bambu), dos módulos de resistência e de elasticidade e da porcentagem de reforço do material composto, com as médias (M), desvios padrões (σ), coeficientes de variação (CV) e incremento nos valores de MOR e MOE (I) dos dados.

Tabela 10 - Dados obtidos nos ensaios de flexão estática do material composto madeira maciça com Bambu *Guadua angustifolia* (MACG).

CP	Reforço de Bambu (%)	Densidade (Kg/m ³)	MOR (MPa)	MOE (MPa)
MACG1	15,46	479,67	58,19	8.985
MACG2	16,45	455,59	53,38	9.274
MACG3	16,32	430,77	47,89	6.522
MACG4	16,45	484,32	56,37	8.043
MACG5	16,72	448,51	48,02	6.487
MACG6	15,90	491,99	- ³	- ³
M (MPa)	16,22	465,14	52,77	7862,48
σ (MPa)	0,457	23,87	4,72	1320,43
CV (%)	2,82	5,13	8,94	16,79
I (%)			27,3%	28,5%
MACr⁴	0	448,14	38,35	5619,60

³ O corpo-de-prova foi utilizado para achar a estimativa da força máxima.

⁴ O corpo-de-prova MACr refere-se ao corpo-de-prova de referência, ou seja, somente madeira maciça de pinus.

Tabela 11 - Dados obtidos nos ensaios de flexão estática do material composto madeira maciça com Bambu *Dendrocalamus giganteus* (MACD).

CP	Reforço de Bambu (%)	Densidade (g/cm ³)	MOR (MPa)	MOE (MPa)
MACD1	16,4	469,61	44,81	6.642
MACD2	15,29	510,84	61,42	8.901
MACD3	17,99	593,97	67,71	11.138
MACD4	16,82	503,16	55,51	9.715
MACD5	17,05	491,12	50,15	7.343
MACD6	16,24	469,07	59,66	6.792
M (MPa)	16,63	506,30	56,54	8421,67
σ (MPa)	0,90	46,22	8,22	1804,06
CV (%)	5,42	9,13	14,54	21,42
I (%)			32,2%	33,3%
MACr⁴	0	448,14	38,35	5619,60

Os dados da Tabela 10 e 11 mostram que os valores de MOR e MOE nas peças com reforço de *Dendrocalamus* foram superiores aos das peças de *Guadua*, observando-se uma diferença de aproximadamente 6,6%. Sendo que as propriedades mecânicas estão diretamente relacionadas à densidade do material, a baixa diferença entre os módulos obtidos das espécies estudadas pode estar relacionada com a densidade encontrada, a qual é relativamente menor que valores existentes na literatura pertinente sobre a espécie *D. giganteus*.

Todos os corpos-de-prova do material reforçado apresentaram incrementos significativos na resistência e na rigidez, em ambas as espécies estudadas.

Os valores obtidos foram inferiores aos de Lima e Dias (2001). Estas diferenças podem estar relacionadas às diferenças entre adesivos e aplicação da norma utilizada para ensaios, onde o vão adotado pelos autores não obedece a razão de vinte e uma vezes a espessura da peça.

A Figura 30 mostra um gráfico comparativo entre os valores médios de módulos de elasticidade dos corpos-de-prova com e sem reforço de bambu (MACG e MACD).

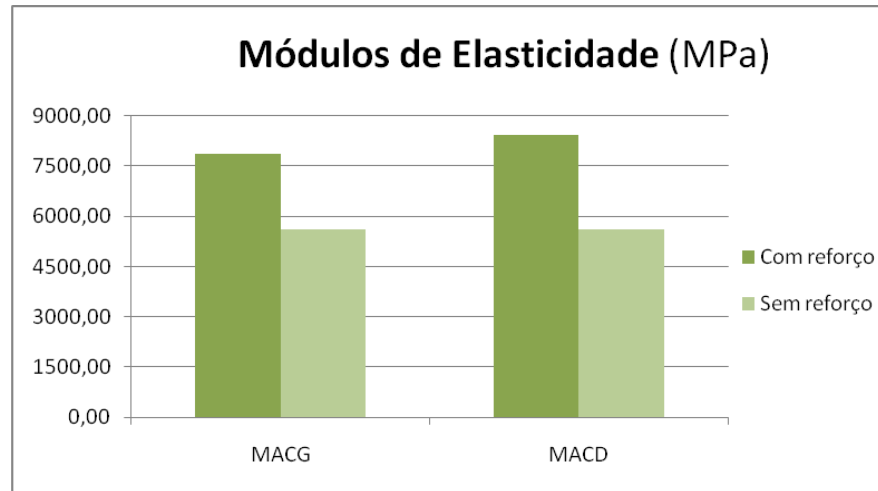


Figura 30 - Gráfico comparativo entre os valores médios de módulos de elasticidade dos corpos-de-prova com e sem reforço de bambu (MACG e MACD).

A Figura 31 mostra um gráfico comparativo entre os valores médios de módulos de ruptura dos corpos-de-prova com e sem reforço de bambu (MACG e MACD).

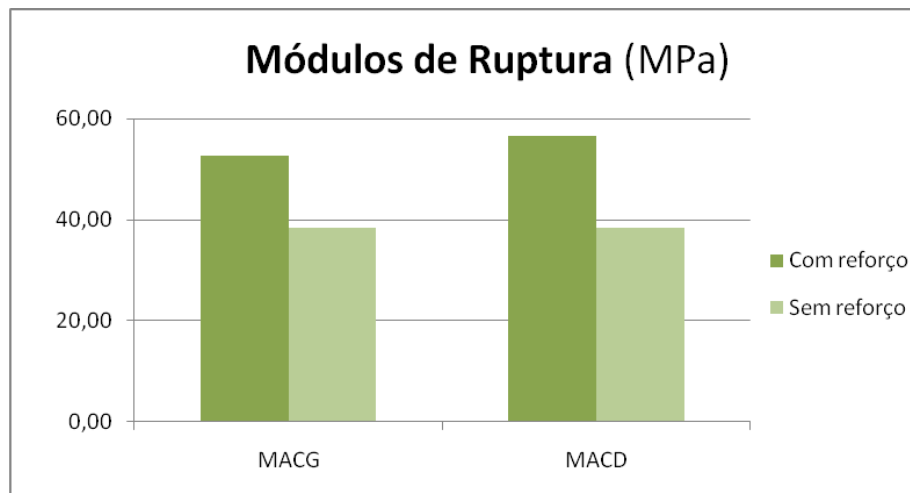


Figura 31 - Gráfico comparativo entre os valores médios de módulos de ruptura dos corpos-de-prova com e sem reforço de bambu (MACG e MACD).

Os valores de MOE e MOR encontrados foram inferiores aos obtidos por Ballarin e Palma (2003) em estudos feitos em peças de madeira serrada de *Pinus taeda* de um lote homogêneo sem nó e medula, conforme pode ser visto na Tabela 12. Porém deve-se ressaltar que as peças de pinus utilizadas para os ensaios com reforço apresentavam medula e nós que diminuem consideravelmente a

propriedades mecânicas das peças. Apesar de inferiores aos encontrados na literatura, os resultados obtidos neste trabalho mostram um significativo incremento nas propriedades mecânicas, possibilitando a minimização dos defeitos encontrados na madeira de *Pinus* da região de Itapeva/SP através da utilização de reforço de bambu.

Tabela 12 - Valores médios de MOE, MOR e densidade do *Pinus taeda* x Compósito de madeira-bambu.

CP	MOE (MPa)	MOR (MPa)	Densidade (Kg/m ³)
<i>P. taeda</i> Ballarin e Palma (2003)	10.894	87,03	536
<i>P. taeda</i> com reforço <i>G. angustifolia</i>	7.862	52,77	465
<i>P. taeda</i> com reforço <i>D. giganteus</i>	8.422	56,54	506

Na análise dos aspectos visuais entre os corpos-de-prova ensaiados pôde-se observar que as lâminas de reforço de bambu evitaram que houvesse o rompimento no nó das peças (Figura 32). Todos os rompimentos ocorreram na parte central do corpo-de-prova, o que não ocorreu nas peças sem reforço (Figuras33).



Figura 32 - Aspecto do rompimento em um corpo-de-prova de madeira maciça com reforço de bambu.



Figura 33 - Aspecto do rompimento nos corpos-de-prova de madeira maciça sem reforço de bambu.

Outro fato importante observado durante a condução dos ensaios foi que não houve descolamento na linha de cola entre o bambu e as peças de madeira maciça.

6. CONCLUSÃO

Todos os corpos-de-prova apresentaram colapsos provocados pela ruptura das lâminas de reforço de bambu na região nodal. Conclui-se que deve-se ter cuidado, durante a etapa de colagem, para que os nós presentes nos reforços de bambu estejam sempre posicionados de forma não alinhadas e o mais distantes possível do centro da peça, para a obtenção de maiores valores de resistência e de rigidez.

Obteve-se incremento nos módulos de ruptura e de elasticidade na flexão estática em todos os corpos-de-prova de madeira produzidos a partir da espécie *Pinus taeda* com a utilização de reforço de lâminas de bambu, tanto da espécie *Dendrocalamus giganteus* quanto de *Guadua angustifolia*, visando à aplicação no desenvolvimento de componentes da indústria moveleira, como pretendido no trabalho.

Observou-se um incremento na rigidez de até 50% quando 18% da altura dos corpos-de-prova de EGP e de madeira maciça foram substituídos por bambu.

Na resistência à flexão obteve-se um incremento de até 43% e 22% quando 18% da altura dos corpos-de-prova de EGP ou madeira maciça foram substituídos por bambu, respectivamente.

As propriedades de resistência e rigidez à flexão estática foram superiores em corpos-de-prova de madeira maciça com reforço de bambu *D. giganteus* em relação ao *G. angustifolia*.

Obteve-se um maior incremento médio no módulo de elasticidade nas peças de EGP reforçadas com bambu. Nas peças de madeira maciça observou-se um incremento proporcional entre o MOE e MOR nos corpos-de-prova.

A utilização dos reforços de bambu se mostraram eficientes na confecção de peças de compósito com o EGP, o que pode propiciar nova utilização para tal painel de madeira.

Os valores obtidos mostram a possibilidade de redução de seções nos componentes de mobiliário, permitindo a racionalização do consumo de matéria-prima. Os resultados mostram um significativo aumento nas propriedades

mecânicas, possibilitando a utilização de peças com defeitos encontrados na madeira de Pinus da região de Itapeva/SP.

Através deste estudo foram detectadas algumas diretrizes importantes que podem ser indicadas como recomendações para trabalhos futuros como, por exemplo, estudo do material composto com outros derivados de madeira ou emprego de tipos diferentes de adesivos para a utilização do compósito na construção civil.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE (ABIMCI). **Produtos de madeira**. Fevereiro de 2004. Disponível em: <<http://www.abimci.com.br>>. Acesso em: 11 set. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**. Rio de Janeiro, 1997.

AZZINI, A. et al. Densidade básica e dimensões das fibras em bambus do gênero *guadua*. **Revista Bragantia**. Campinas – SP, v.36, n.1, p.I–V, 1977. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/bragantia/index.asp>>. Acesso em: 27 nov. 2009.

AZZINI, A. et al. Produção conjunta de fibras celulósicas e etanol a partir do bambu. **Revista Bragantia**. Campinas – SP, v.46, n.1, p.17-25, 1987. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/bragantia/index.asp>>. Acesso em: 28 out. 2009.

AZZINI, A. et al. Tratamento preservativo de bambus. **Revista Bragantia**. Campinas - SP, v.37, n.9, p.LV–LVII, 1978. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/bragantia/index.asp>>. Acesso em: 27 nov. 2009.

BALLARIN, A. W.; PALMA, H. A. L. Propriedades de resistência e rigidez da madeira juvenil e adulta de *pinus taeda*. **Revista Árvore**, Viçosa - MG, v.27, n.3, p.371-380, 2003. Disponível em: <<http://www.revistaarvore.ufv.br/arvoreweb/index.php>>. Acesso em: 28 out. 2009.

BARELLI, B. G. P. **Design para a sustentabilidade**: modelo de cadeia produtiva do bambu laminado colado (blc) e seus produtos. 2009. 131 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Design, Departamento de Arquitetura, Artes e Comunicação, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2009.

BERALDO, A. L. et al. Características físicas, químicas e anatômicas de três espécies de bambus gigantes. In: EBRAMEM, 6, 1998, Florianópolis. **Anais**. Florianópolis: 1998, p. 296-306.

CARDOSO JUNIOR, M. L. **Recomendações para projeto de piso de bambu laminado colado - BLC**. 2008. 163 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental Urbana, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2008.

CIARAMELLO D.; AZZINI A.; Bambu como matéria-prima para papel - estudos sobre o emprêgo de quatro espécies de *Dendrocalamus*, na produção de celulose sulfato. **Revista Bragantia**. Campinas – SP, v.30, n.24, p.321–336, 1971. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/bragantia/index.asp>>. Acesso em: 27 nov. 2009.

EMBAYE, K. The Indigenous Bamboo Forests of Ethiopia: An Overview. **Ambio**. V.29, N.8, p.518-521, 2000.

ESPELHO, J. C. C.; BERALDO, A. L.. Avaliação físico-mecânica de colmos de bambu tratados. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 6, p.645-652, 2008. Disponível em: <<http://www.agriambi.com.br>>. Acesso em: 28 out. 2009.

GHAVAMI, K.; MARINHO, A. B. Propriedades físicas e mecânicas do colmo inteiro do bambu da espécie *Guadua angustifolia*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 1, p.107-114, 2005. Disponível em: <<http://www.agriambi.com.br>>. Acesso em: 17 out. 2009.

IWAKARI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005. 247p.

JANSSEN J. J. A. **Designing and Building with Bamboo**. 2000. Disponível em: <<http://www.inbar.int>>. Acesso em: 26 ago. 2010

LABO, L. E. R.; BERALDO, A. L. Bambu Laminado Colado. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, Maringá, v. 1, n. 2, p.165-177, 2008. Disponível em: <<http://www.cesumar.br>>. Acesso em: 30 ago. 2009.

LIESE W. **The anatomy of bamboo culms**. Beijing: International Network for Bamboo and Rattan, 1998. 204p.

LIMA JÚNIOR, H. C.; DIAS, A. A. Vigas mistas de madeira de reflorestamento e bambu laminado colado: análise teórica e experimental. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 3, p.519-524, 2001. Disponível em: <<http://www.agriambi.com.br>>. Acesso em: 30 ago. 2009.

MOIZÉS, F. A. **Painéis de Bambu, uso e aplicações: uma experiência didática nos cursos de Design em Bauru, São Paulo**. 2007. 113 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Desenho Industrial, Departamento de Arquitetura, Artes e Comunicação, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2007.

MORALES, E. A. M. **Determinação do módulo de elasticidade da madeira: proposta para simplificação de procedimentos metodológicos**. 2002. 86 p. Dissertação (Mestrado) - Curso em Ciências e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

MURAD, J. R. L.. **As propriedades físicas, mecânicas e meso-estrutural do bambu *Guadua weberbaueri* do Acre**. 120 p. Tese (Mestrado) - Curso de Pós Graduação, Departamento de Engenharia Civil, Puc-Rio, Rio de Janeiro, 2007.

NAHUZ, M. A. R. **Tendências do mercado de produtos florestais**. Fevereiro de 2004. Disponível em: <<http://www.remade.com.br>>. Acesso em: 01 set. 2010.

NOGUEIRA, C. L.. **Bambu laminado colado estrutural**. 2008. 92 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Recursos Florestais, Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz, Piracicaba, 2008.

PEREIRA, M. A. R. Projeto Bambu: manejo e produção do bambu gigante (*Dendrocalamus giganteus*) cultivado na UNESP de Bauro/SP. In: Seminário

Nacional de Bambu: estruturação da rede de pesquisa e desenvolvimento, 1, 2006, Brasília. **Anais**. Brasília:2006.

PEREIRA, M. A. R.; BERALDO A. L. **Bambu de corpo e alma**. Bauru: Canal 6, 2007. 239p.

PEREIRA M. A. R.; GRECO, T. M. Determinação de características mecânicas de ripas laminadas da espécie *guadua angustifolia*. In: EBRAMEM, 12, 2010, Lavras. **Anais**. Lavras: 2010.

RIVERO, L. A. **Laminado colado e contraplacado de bambu**. 2003. 99 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

SILVA, R. M. de C. **O bambu no Brasil e no Mundo**. Setembro de 2005. Disponível em: <http://www.embambu.com.br/imagens/bambu_brasil_mundo.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2010

YU, X. **Bamboo: Structure and Culture**. 2007. 187 p. Dissertação (Doutorado) - Fachbereich Kunst und Design, Universität Duisburg, Essen, 2007.