

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA FLORESTAL**

**PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DE CHAPAS
AGLOMERADAS PRODUZIDAS COM BAMBU,
PINUS E EUCALIPTO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Wesley Wilker Corrêa Morais

Santa Maria, RS, Brasil

2011

**PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DE CHAPAS
AGLOMERADAS PRODUZIDAS COM BAMBU,
PINUS E EUCALIPTO**

Wesley Wilker Corrêa Morais

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Tecnologia da Madeira, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Florestal.**

Orientador: Clovis Roberto Haselein

Santa Maria, RS, Brasil

2011

M827p Morais, Wesley Wilker Corrêa
 Propriedades físico-mecânicas de chapas aglomeradas produzidas com bam-
bu, pinus e eucalipto / por Wesley Wilker Corrêa Morais. – 2011.
 132 f. ; il. ; 30 cm

 Orientador: Clovis Roberto Haselein
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciên-
cias Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2011

 1. Engenharia florestal 2. Pinus taeda 3. Eucalyptus grandis 4. Ureia-for-
maldeído 5. Ultra-som I. Haselein, Clóvis Roberto II. Título.

 CDU 674.09

Ficha catalográfica elaborada por Cláudia Terezinha Branco Gallotti – CRB 10/1109
Biblioteca Central UFSM

©2011

Todos os direitos autorais reservados a Wesley Wilker Corrêa Morais. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita com autorização por escrito do autor.
Endereço: Avenida Roraima, n° 1000, prédio 44, sala 5006. Santa Maria, RS, Brasil, CEP: 97105-900;
Endereço Eletrônico: wesley_eng@yahoo.com.br

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DE CHAPAS
AGLOMERADAS PRODUZIDAS COM BAMBU,
PINUS E EUCALIPTO**

elaborada por
Wesley Wilker Corrêa Morais

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Florestal

COMISSÃO EXAMINADORA:

Clovis Roberto Haselein, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Darci Alberto Gatto, Dr. (UFPEL)

Éverton Hillig, Dr. (UNICENTRO)

Santa Maria, 18 de julho de 2011.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e irmã pelo apoio e toda confiança depositada durante todo esse tempo que estive distante para a realização desse sonho em comum. E por serem exemplos de dignidade e persistência em busca dos seus ideais.

Ao meu orientador Clóvis Roberto Haselein, grande amigo presente nessa minha caminhada me auxiliando no meu aprendizado. Agradeço também pelos seus conselhos e por toda sua simpatia e o seu incentivo além das oportunidades de desenvolver todos meus projetos.

A minha noiva, Janice B. Facco, por todo seu apoio incondicional, positivismo e os seus incentivos em momentos difíceis.

Aos meus tios, Oswaldo Rocha Filho e Iolanda Corrêa Rocha, pelos calorosos natais e reveillons durante a minha graduação e meu mestrado. Além, dos incentivos para as conquistas mais importantes da minha vida.

Aos grandes amigos, engenheiros florestais integrantes do BMFC.

Aos membros da banca, Darci Alberto Gatto e Éverton Hillig que gentilmente vieram presenciar esse momento de suma importância na minha vida.

Aos funcionários do LPF, Fabiana Ratzlaff, Tarso Michelotti e Nelson de Castro, pelo auxílio durante a realização do presente estudo.

Aos amigos e as pessoas que muito me ajudaram diretamente ou indiretamente neste trabalho seja com ajuda nos testes ou com esclarecimentos de dúvidas advindas deste trabalho.

“Não conheço ninguém que conseguiu realizar seu sonho, sem sacrificar feriados e domingos pelo menos uma centena de vezes. Da mesma forma, se você quiser construir uma relação amigável com seus filhos, terá que se dedicar a isso, superar o cansaço, arrumar tempo para ficar com eles, deixar de lado o orgulho e o comodismo. Se quiser um casamento gratificante, terá que investir tempo, energia e sentimentos nesse objetivo, pois ao contrário, acabará perdendo seu grande amor. O sucesso é construído à noite! Durante o dia você faz o que todos fazem. Mas, para obter um resultado diferente da maioria, você tem que ser especial. Se fizer igual a todo mundo, obterá os mesmos resultados. Não se compare à maioria, pois infelizmente ela não é modelo de sucesso. Se você quiser atingir uma meta especial, terá que estudar no horário em que os outros estão tomando chope com batatas fritas. Terá de planejar, enquanto os outros permanecem à frente da televisão. Terá de trabalhar enquanto os outros tomam sol à beira da piscina. A realização de um sonho depende de dedicação. Há muita gente que espera que o sonho se realize por magia. Mas toda magia é ilusão. A ilusão não tira ninguém de onde está. Ilusão é combustível de perdedores. "Quem quer fazer alguma coisa, encontra um "MEIO" "Quem não quer fazer nada, encontra uma "DESCULPA".

Roberto Shinyashiki

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Universidade Federal de Santa Maria

PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DE CHAPAS AGLOMERADAS PRODUZIDAS COM BAMBU, PINUS E EUCALIPTO.

Autor: Wesley Wilker Corrêa Morais
Orientador: Clovis Roberto Haselein
Data: Santa Maria, 18 de julho de 2011.

Este estudo investigou as propriedades físicas e mecânicas dos painéis aglomerados constituídos de bambu (*Bambusa tuldoides*), pinus (*Pinus taeda*) e eucalipto (*Eucalyptus grandis*) e as combinações entre eles. Para tanto, foram confeccionados painéis, definidos pelo uso de cada espécie de partícula pura ou misturada a duas ou três sendo estabelecidos 0, 25, 50, 75 e 100% de proporção em relação a massa seca, totalizando 36 painéis. Os ensaios físicos realizados foram o teor de umidade, massa específica, absorção d'água e o inchamento em espessura e os mecânicos foram a flexão estática, arrancamento de parafusos e ligação interna. Para complementar o estudo, foi realizado ensaio não destrutivo pelos métodos direto e indireto para se obter modelos entre os ensaios destrutivos e o não destrutivo. Os resultados obtidos foram submetidos ao teste de correlação simples e analisados por regressão. De modo geral, os painéis homogêneos de pinus e eucalipto apresentaram melhores resultados que dos painéis formados apenas por bambu. A inclusão de bambu prejudicou, principalmente, as propriedades mecânicas das chapas. Todos os painéis ficaram abaixo dos valores mínimos das normas para os ensaios físicos e mecânicos, apenas no ensaio de tração os painéis homogêneos de pinus obtiveram valores superiores aos padrões de comercialização. Os tratamentos utilizando a combinação de todas as espécies foram comparados, graficamente, e resultaram em painéis inferiores aos homogêneos de bambu, para a absorção d'água após duas e vinte e quatro horas e inchamento após duas horas. Porém, apresentaram desempenhos superiores no inchamento após vinte e quatro horas, módulos de ruptura e elasticidade estáticos, arrancamento de parafusos e ligação interna. Para os ensaios não destrutivos o método de propagação direto apresentou melhores correlações quando comparado ao indireto. As correlações significativas do módulo de elasticidade dinâmico direto, em ordem de significância, ocorreram com a massa específica observada, o arrancamento de parafusos, módulo de ruptura e módulo de elasticidade estático.

Palavras-chave: *Bambusa tuldoides*. *Pinus taeda*. *Eucalyptus grandis*. Ureia-formaldeído. Ultra-som.

ABSTRACT

Master's Thesis
Master's Degree Program in Forest Engineering
Federal University of Santa Maria

PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF PARTICLEBOARD PRODUCED WITH BAMBOO, PINE AND EUCALYPT.

Author: Wesley Wilker Corrêa Morais

Advisor: Clovis Roberto Haselein

Date: Santa Maria, July 18, 2011.

This study investigated the physical and mechanical properties of particleboards formed of bamboo (*Bambusa tuldooides*), pine (*Pinus taeda*) and eucalyptus (*Eucalyptus grandis*) and their combinations. To this end, panels were made, defined by the use of each type of particle pure or mixed by two or three being set 0, 25, 50, 75 and 100% of dry weight proportion, totalling 36 panels. The physical tests performed were the moisture content, density, water absorption and thickness swelling and the mechanical were static bending, screw withdrawal and internal bond. In order to complement the study, non-destructive testing were performed by direct and indirect ultrasonic to obtain models relating destructive and nondestructive methods. The results were analysed by for simple correlation and regression. In general, homogeneous panels made of pine and eucalypt showed better results than pure bamboo. The inclusion of bamboo particles decreased, mainly, the mechanical properties of the panels. All particleboard were below the minimum standards in physical and mechanical tests, only internal bond in panels pure pinehad higher values than commercial standards. Treatments using a combination of all species were compared, graphically, and resulted in lower than homogeneous panels of bamboo, for water absorption after two and twenty four hours and swelling after two hours. However, showed superior performance in swelling in thickness after twenty four hours, modulus of rupture and modulus of elasticity in static bending, screw withdrawal and internal bond. The non-destructive direct method showed better correlations than the indirect one. The significant correlations of the direct dynamic modulus of elasticity, in order of significance, occurred with board density, screw withdrawal, and static modulus of rupture and modulus of elasticity.

Key-words: *Bambusa tuldooides*. *Pinus taeda*. *Eucalyptus grandis*. Urea-formaldehyde. Ultrasound.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Número de espécies de bambu	19
Tabela 2 – Resistência mecânica de algumas espécies de bambu.....	28
Tabela 3 – Massa específica e variação dimensional de algumas espécies de bambu	29
Tabela 4 – Fatores que afetam as propriedades dos painéis	30
Tabela 5 – Proporções de bambu/pinus/eucalipto utilizados na confecção dos painéis	43
Tabela 6 – Espécie de partícula, valores do coeficiente de esbeltez (CE) e coeficiente de esbeltez associada a massa específica básica (CEMEb) .	54
Tabela 7 – Tratamentos, proporções das partículas, valores da massa específica e observada (Meo) e o Teor de umidade do colchão (TUc).....	55
Tabela 8 – Tratamentos, proporções das partículas, valores da absorção d'água após 2 e 24 horas (AA2H e AA24H) e inchamento em espessura após 2 e 24 horas (IE2H e IE24H).....	56
Tabela 9 – Matriz de correlação simples de Pearson para absorção d'água dos painéis	57
Tabela 10 – Valor de F, Probabilidade e coeficiente de determinação para a estimativa da AA2H e AA24H através do MOEDD	65
Tabela 11 – Matriz de correlação simples de Pearson para inchamento em espessura dos painéis	66
Tabela 12 – Tratamentos, proporções das partículas, valores do módulo de ruptura e de elasticidade (MOR e MOEE), arrancamento de parafuso (AP) e ligação interna (LI)	74
Tabela 13 – Matriz de correlação simples de Pearson para as propriedades de Flexão estática.....	76
Tabela 14 – Matriz de correlação simples de Pearson para o Arrancamento de parafuso.....	88
Tabela 16 – Matriz de correlação simples de Pearson para a Tração.....	94
Tabela 17 – Valor de F, Probabilidade e coeficiente de determinação para a estimativa da LI através do MOEDD.....	99

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Partes do bambu	20
Figura 2 – Seção de um colmo de bambu e suas denominações	21
Figura 3 – Categorias de rizomas	22
Figura 4 – (a) Rizoma entouceirante; (b) Touceira de <i>Bambusa Tuldoides</i>	23
Figura 5 – (a) Rizoma alastrante; (b) Bambu alastrante.....	24
Figura 6 – Distribuição das espécies de bambu no mundo.....	25
Figura 7 – Distribuição estimada de bambus por Estado	26
Figura 8 – Corte transversal do colmo	27
Figura 9 – Derivados da madeira sólida.....	31
Figura 10 – Classificação dos painéis de madeira pela matéria e massa específica	33
Figura 11 – Utilizações possíveis para o bambu	35
Figura 12 – Metodologia para obtenção das partículas de pinus e eucalipto.....	38
Figura 13 – Metodologia para obtenção de partículas de bambu.....	38
Figura 14 – (a) Flaker (b) Moinho de martelos (c) Secagem em estufa (d) Partículas utilizadas	39
Figura 15 – (a) Tambor rotativo (b) Pistola de ar.....	41
Figura 16 – (a) Pré-prensagem à temperatura ambiente (b) Prensa hidráulica	42
Figura 17 – (a) Modelo de corte das chapas para a confecção dos corpos-de-prova (b) Amostras de cada tratamento para o ensaio de flexão estática.....	44
Figura 18 – Sistema adotado para o teste de absorção d água e inchamento em espessura.....	46
Figura 19 – (a) Máquina universal de ensaios hidráulica (b) Realização do teste de flexão estática	47
Figura 20 – (a) Amostra para o ensaio (b) Ensaio de arrancamento de parafuso.....	48
Figura 21 – (a) Blocos de metal aderidos ao painel (b) Rompimento do corpo de prova	49
Figura 22 – (a) Equipamento de ultrassom (b) Ensaio de propagação indireta.....	50
Figura 23 – Absorção d água após 2 horas dos painéis fabricados com bambu e pinus para a MEo e o TU médios	58
Figura 24 – Absorção d água após 2 horas dos painéis fabricados com bambu e eucalipto para a MEo e o TU médios	59

Figura 25 – Absorção água após 2 horas dos painéis confeccionados com misturas de bambu, pinus e eucalipto.....	60
Figura 26 – Absorção água após 24 horas dos painéis formados por bambu e pinus para a MEo e o TU médios.....	61
Figura 27 – Absorção água após 24 horas dos painéis formados por bambu e eucalipto para a MEo e o TU médios.....	62
Figura 28 – Absorção água após 24 horas dos painéis confeccionados com misturas de bambu, pinus e eucalipto.....	63
Figura 29 – Modelo estimado da absorção d’água após 2 horas através da massa específica observada nos painéis.....	64
Figura 30 – Modelo estimado da absorção d’água após 2 horas através da massa específica observada nos painéis.....	64
Figura 31 – Inchamento em espessura após 2 horas dos painéis formados por bambu e pinus para a MEo e o TU médios.....	67
Figura 32 – Inchamento em espessura após 2 horas dos painéis formados por bambu e eucalipto para a MEo e o TU médios.....	68
Figura 33 – Inchamento em espessura após 2 horas dos painéis confeccionados com misturas de bambu, pinus e eucalipto.....	69
Figura 34 – Inchamento em espessura após 24 horas dos painéis formados por bambu e pinus para a MEo e o TU médios.....	70
Figura 35 – Inchamento em espessura após 24 horas dos painéis formados por bambu e eucalipto para a MEo e o TU médios.....	71
Figura 36 – Inchamento em espessura após 24 horas dos painéis confeccionados com misturas de bambu, pinus e eucalipto.....	72
Figura 37 – Modelo estimado do inchamento em espessura após 2 horas através da massa específica observada nos painéis.....	73
Figura 38 – Modelo estimado do inchamento em espessura após 2 horas através da massa específica observada nos painéis.....	74
Figura 39 – Módulo de ruptura dos painéis formados por bambu e pinus para a MEo média.....	77
Figura 40 – Módulo de ruptura dos painéis formados bambu e eucalipto para a MEo média.....	78
Figura 41 – Módulo de ruptura dos painéis confeccionados com misturas de bambu, pinus e eucalipto.....	79

Figura 42 – Módulo de elasticidade estático dos painéis formados por bambu e pinus para a MEo média	80
Figura 43 – Módulo de elasticidade estático dos painéis formados por bambu e eucalipto para a MEo média.....	81
Figura 44 – Módulo de elasticidade estático dos painéis confeccionados com misturas de bambu, pinus e eucalipto	82
Figura 45 – Modelo estimado do módulo de ruptura através do módulo de elasticidade estático	83
Figura 46 – Modelo estimado do módulo de ruptura através do módulo de elasticidade dinâmico direto	85
Figura 47 – Modelo estimado do módulo de elasticidade estático através do módulo de elasticidade dinâmico direto	86
Figura 48 – Arrancamento de parafuso dos painéis formados por bambu e pinus para a MEo média	89
Figura 49 – Arrancamento de parafuso dos painéis formados por bambu e eucalipto para a MEo média	90
Figura 50– Arrancamento de parafuso dos painéis confeccionados com misturas de bambu, pinus e eucalipto	91
Figura 51 – Modelo estimado do arrancamento de parafuso através do módulo de elasticidade dinâmico direto	92
Figura 52 – Modelo estimado do arrancamento de parafuso através do módulo de elasticidade estático	93
Figura 53 – Ligação interna dos painéis formados por de bambu e pinus para a MEo média	95
Figura 54 – Ligação interna dos painéis formados por bambu e eucalipto para a MEo média	96
Figura 55 – Ligação interna dos painéis confeccionados com misturas de bambu, pinus e eucalipto	97

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice 1 – Tabela para seleção de modelo para a AA2H em painéis constituídos por bambu e pinus.....	117
Apêndice 2 – Tabela para seleção de modelo para a AA2H em painéis constituídos por bambu e eucalipto.....	118
Apêndice 3 – Tabela para seleção de modelo para a AA24H em painéis constituídos por bambu e pinus.....	119
Apêndice 4 – Tabela para seleção de modelo para a AA24H em painéis constituídos por bambu e eucalipto.....	120
Apêndice 5 – Tabela para seleção de modelo para a IE2H em painéis constituídos por bambu e pinus.....	121
Apêndice 6 – Tabela para seleção de modelo para a IE2H em painéis constituídos por bambu e eucalipto.....	122
Apêndice 7 – Tabela para seleção de modelo para a IE24H em painéis constituídos por bambu e pinus.....	123
Apêndice 8 – Tabela para seleção de modelo para a IE24H em painéis constituídos por bambu e eucalipto.....	124
Apêndice 9 – Tabela para seleção de modelo para o MOR em painéis constituídos por bambu e pinus.....	125
Apêndice 10 – Tabela para seleção de modelo para o MOR em painéis constituídos por bambu e eucalipto.....	126
Apêndice 11 – Tabela para seleção de modelo para o MOE em painéis constituídos por bambu e pinus.....	127
Apêndice 12 – Tabela para seleção de modelo para o MOE em painéis constituídos por bambu e eucalipto.....	128
Apêndice 13 – Tabela para seleção de modelo para o AP em painéis constituídos por bambu e pinus.....	129
Apêndice 14 – Tabela para seleção de modelo para o AP em painéis constituídos por bambu e eucalipto.....	130
Apêndice 15 – Tabela para seleção de modelo para o LI em painéis constituídos por bambu e pinus.....	131
Apêndice 16 – Tabela para seleção de modelo para o LI em painéis constituídos por bambu e eucalipto.....	132

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVO	17
2.1 Objetivo geral	17
2.2 Objetivos específicos	17
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	19
3.1 Aspectos biológicos dos bambus	19
3.2 Distribuição geográfica.....	24
3.3 Características físicas e mecânicas dos colmos	26
3.4 Matéria-prima para produção de painéis	29
3.5 Painéis produzidos à base de madeira	32
3.6 Painéis produzidos à base de bambu	34
3.7 Painéis aglomerados produzidos à base de madeira e bambu	35
4 MATERIAIS E MÉTODOS	37
4.1 Obtenção e processamento da matéria-prima	37
4.2 Preparo do adesivo	40
4.3 Produção dos painéis	40
4.4 Tratamentos avaliados	42
4.5 Ensaio físicos, mecânicos e não destrutivos	43
4.5.1 Massa específica e teor de umidade	44
4.5.2 Absorção d água e inchamento em espessura	45
4.5.3 Flexão estática	46
4.5.4 Arrancamento de parafusos	48
4.5.5 Tração perpendicular a superfície do painel.....	48
4.5.6 Ensaio não destrutivo com ultrassom.....	49
4.5 Análises dos resultados.....	51
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
5.1 Características das partículas e painéis	53
5.2 Ensaio físicos	55
5.2.1 Absorção de água	56
5.2.2 Inchamento em espessura	65
5.3 Ensaio mecânicos	74

5.3.1 Flexão estática.....	75
5.3.2 Arrancamento de parafusos.....	87
5.3.3 Tração.....	93
6 CONCLUSÕES	101
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	103
APÊNDICE	117

1 INTRODUÇÃO

Devido às exigências do mercado globalizado, os pesquisadores buscam novos materiais para a confecção de painéis aglomerados, que possam diminuir os custos de produção, os impactos ambientais e substituir com eficiência física e mecânica os painéis utilizados tradicionalmente. Segundo Melo et al. (2009), as chapas aglomeradas podem ser produzidas a partir de qualquer material lignocelulósico que lhes confira alta resistência mecânica e massa específica preestabelecida.

O bambu é uma alternativa que possui propriedades estruturais satisfatórias que são evidenciadas pelas relações resistência/massa específica e rigidez/massa específica, superando as da madeira e do concreto e podendo ser comparadas às do aço (JANSSEN, 2000). Para Jaramillo (1992), o bambu é o recurso natural que leva menos tempo para ser renovado, não existindo espécie florestal que possa competir em velocidade de crescimento e aproveitamento por área. Pauli (1996) afirma que esta gramínea é um fixador de carbono, possui fibras longas, fortes e de elevada resistência mecânica produzidas com um mínimo de gasto energético, o que possibilita o desenvolvimento de todo um conglomerado industrial ao seu redor.

Existem países que consideram o bambu como um dos meios alternativos para aumentar a produtividade agrícola, gerar emprego e estimular a indústria, como ocorre no Nepal, China, Filipinas e Havaí. Nestes países, o bambu tem sido objeto de pesquisas e desenvolvimento tecnológicos (CALEGARI et al., 2007) e seu uso não está restrito às formas naturais (colmos), mas sim muito utilizado na fabricação de pisos e painéis laminados e de seus derivados. No Brasil, o bambu é utilizado nas estruturas residenciais e em objetos em geral, aplicado em sua forma natural, vinculado às tradições indígenas e aos imigrantes orientais (MOIZÉS, 2007).

O bambu distribui-se em todo território nacional, apresentando como espécies principais a *Bambusa vulgaris* Schrad., *Bambusa tuldoides*, *Dendrocalamus giganteus* e *Phyllostachys* sp. (VITAL; HASELEIN 1988). O potencial nacional do bambu, para o desenvolvimento de tecnologias, conservação e manejo, está relacionado à variedade de gêneros (34) e cerca de 230 espécies das quais 174 são consideradas endêmicas (FILGUEIRAS; GONÇALVES, 2004). Porém, todo o

potencial desta gramínea gigante não é aproveitado devido a uma resistência cultural à aceitação deste material como durável e confiável, além da ideia errônea de associá-lo às obras temporárias e também à miséria e, assim, diminuindo o seu interesse científico e tecnológico (BERALDO e AZZINI, 2004).

Vital e Haselein (1988), Lee et al. (1996), Papadopoulos et al. (2004) e Arruda (2009) observaram que, de modo geral, painéis produzidos com bambu atingiram os valores mínimos exigidos para comercialização. Vital e Haselein (1988) analisaram as propriedades de chapas aglomeradas produzidas com partículas de embaúba (*Cecropia* sp.) e *Bambusa vulgaris*, misturadas em diferentes proporções com adesivo à base de ureia-formaldeído e somente as chapas produzidas apenas com bambu não atingiram os valores mínimos. Este mesmo tratamento apresentou baixo valor de resistência à tração, mostrando que as partículas de bambu não se aderiram adequadamente. Entretanto, Hiziroglu et al. (2005) observaram melhores propriedades mecânicas, com destaque para as relacionadas à flexão, em painéis de partículas de *Dendrocalamus asper* e eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis*), produzidos nas proporções 50:50 e 100:0 respectivamente. A inclusão de palha de arroz também foi avaliada, mostrando-se significativamente prejudicial.

Almeida et al. (2008) estudando a fabricação de chapas aglomeradas de *Pinus* spp. misturadas com bambu (*Dendrocalamus giganteus*), em diferentes proporções de massa (0/100; 25/75; 50/50; 75/25; 100/0), e adesivo poliuretana à base de mamona a 10%, observaram que as partículas de pinus reduziram a massa específica das chapas, no entanto, o bambu agregou ao produto final uma menor absorção de água. Todavia, Arruda (2009) ao confeccionar chapas aglomeradas de *Pinus taeda* e bambu (*Guadua magna*), com proporções (0/100; 25/75; 50/50), adesivo fenol-formaldeído a 10%, observou que a adição de pinus melhorou as propriedades mecânicas do módulo de ruptura e de elasticidade, significativamente, mas não influenciou o inchamento em espessura, a absorção de água, o teor de umidade e o arrancamento de parafuso.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade física e mecânica dos painéis aglomerados constituídos por diferentes proporções de *Bambusa tuldoides*, *Pinus taeda* e *Eucalyptus grandis*.

2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos da presente pesquisa foram os seguintes:

1. Determinar e avaliar: a) a influência da massa específica e o teor de umidade nos ensaios de absorção d'água e inchamento em espessura; b) a influência da massa específica no módulo de elasticidade estático, módulo de ruptura (MOR), resistência ao arrancamento de parafusos e na tração perpendicular à superfície do painel; c) comparar os resultados dos ensaios com a norma de comercialização ANSI 208.1; d) a eficiência dos ensaios não destrutivos para a predição dos resultados obtidos nos ensaios destrutivos.

2. Propor modelos para a estimativa dos resultados dos ensaios físicos, através do teor de umidade, da massa específica observada e das proporções das espécies, e para os ensaios mecânicos, através da massa específica observada e das proporções das espécies.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Aspectos biológicos dos bambus

A espécie vegetal conhecida como bambu, é conhecida há milhares de anos por vários povos e é pertencente à família das gramíneas (*Poaceae*) e à subfamília *bambusoideae* (LÓPEZ, 2003). Entretanto, suas características botânicas não são totalmente conhecidas, uma vez que, para uma completa classificação, é necessária a análise pormenorizada dos frutos e flores de qualquer espécie vegetal. A principal razão para isto é o fato de que a maioria dos bambus floresce em períodos muito longos, 30, 60, 90, 100 ou mais anos (LÓPEZ, 1974). Neste contexto, o número de espécies vem sendo objeto de discussões, conforme a Tabela 1 (BERALDO e FREIRE, 2003).

Tabela 1 – Número de espécies de bambu

Número de espécies	Fontes
600 a 700	Grosser e Zamuco Jr., 1971
1000	Ghavami, 1981
550 a 1250	López, 1974
750	Schiewind, 1989
1200	Hsiung, 2000
1200	Draisfield e Vidjaya, 1995
1250	MOFCOM, 2006

Segundo Silva (2005), os bambus, embora sejam gramíneas, possuem hábito arborescente e, da mesma forma que as árvores, apresentam uma parte aérea, constituída por colmo, folhas e ramificações; e outra subterrânea, composta por rizoma e raiz, como mostra a Figura 1.

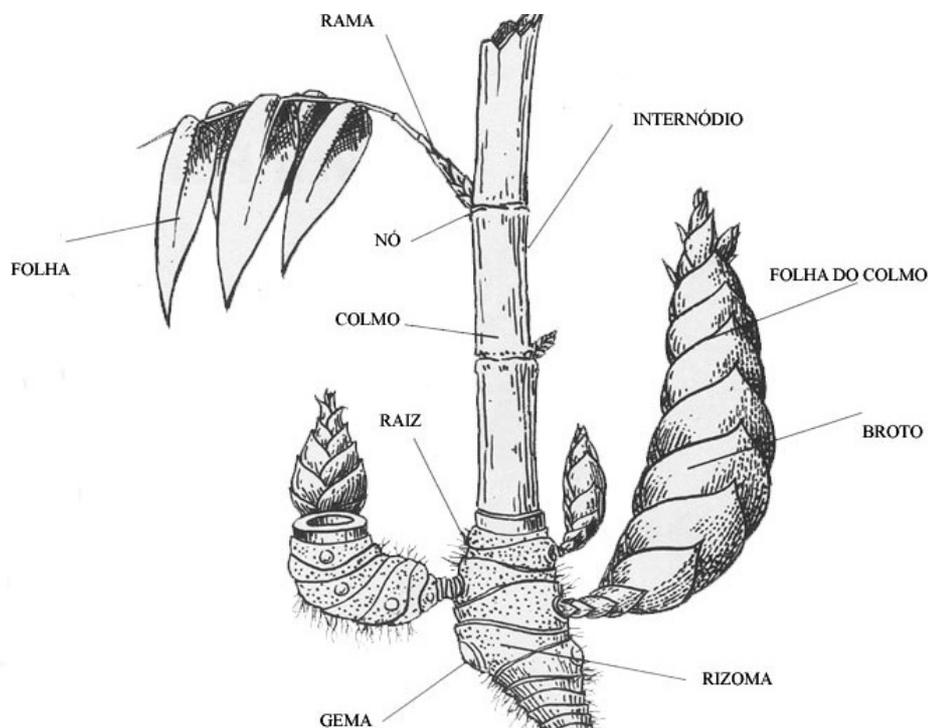


Figura 1 – Partes do bambu

Fonte: NMBA (2004)

O rizoma é o elemento básico da touceira, responsável pela propagação e interligação dos colmos, que são estruturas axiais segmentadas, constituídas alternadamente por nós e internós. Os rizomas são caracterizados pela presença de raízes, bainhas e gemas laterais solitárias em forma de círculo ou de semiesfera, que só se desenvolvem em novos rizomas e, conseqüentemente, em novos colmos (BERALDO e AZZINI, 2004). Nunes (2005) acrescenta que o rizoma exerce também a função de armazenar nutrientes para posterior distribuição.

A parte aérea é denominada de colmo, sendo este normalmente oco. Os espaços existentes dentro do colmo são denominados cavidades, as quais são separadas uma das outras por diafragmas, que aparecem externamente como nós, de onde saem os ramos e as folhas. A porção do colmo entre dois nós é chamada de internó e a espessura do colmo é denominada parede (JANSSEN, 1988) conforme a Figura 2.

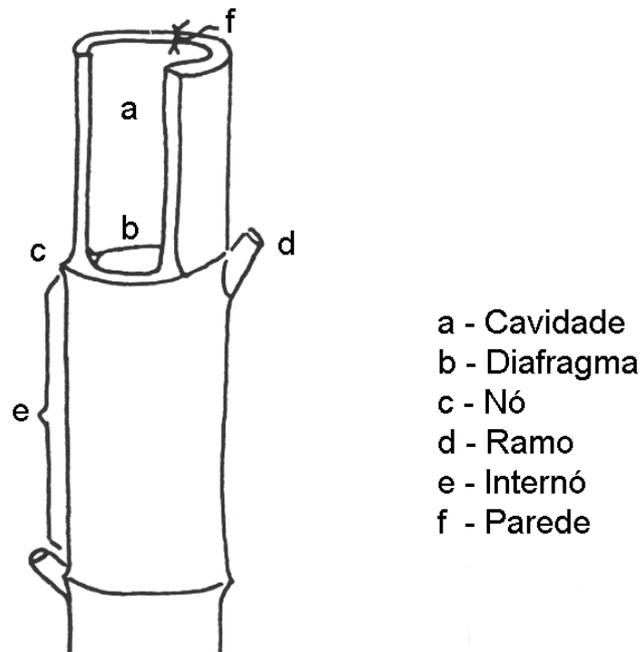


Figura 2 – Seção de um colmo de bambu e suas denominações

Fonte: JANSSEN (1988)

Os bambus podem ser classificados, conforme o rizoma, em duas grandes categorias tradicionais, os ditos entouceirantes ou simpodiais e os alastrantes ou monopodiais (LÓPEZ, 1974). Teixeira (2006) acrescenta que muitos autores propõem a existência do semi-entouceirante (anfipodial) como um terceiro tipo, que dispõe de ambas as características, como apresentado na Figura 3.



Figura 3 – Categorias de rizomas

Fonte: NMBA (2004)

Liese (1985) descreve que os bambus do tipo entouceirante possuem rizomas mais curtos, firmes e grossos do que os alastrantes e são representados, principalmente, pelos gêneros *Bambusa*, *Dendrocalamus* e *Guadua*. Os rizomas simpodiais possuem gemas laterais, responsáveis pelo desenvolvimento de novos rizomas e novos colmos. Os novos rizomas, ao nascerem, logo voltam seu ápice para cima, para dar origem a um novo colmo; e assim sucessivamente, formando moitas de 30 a 100 colmos, produzindo anualmente de 5 a 10 novos colmos de acordo com a espécie e condições locais (PEREIRA, 2001). A Figura 4A mostra o rizoma entouceirante e a 4B, a touceira de *Bambusa tuldoides*, espécie a ser utilizada no estudo.

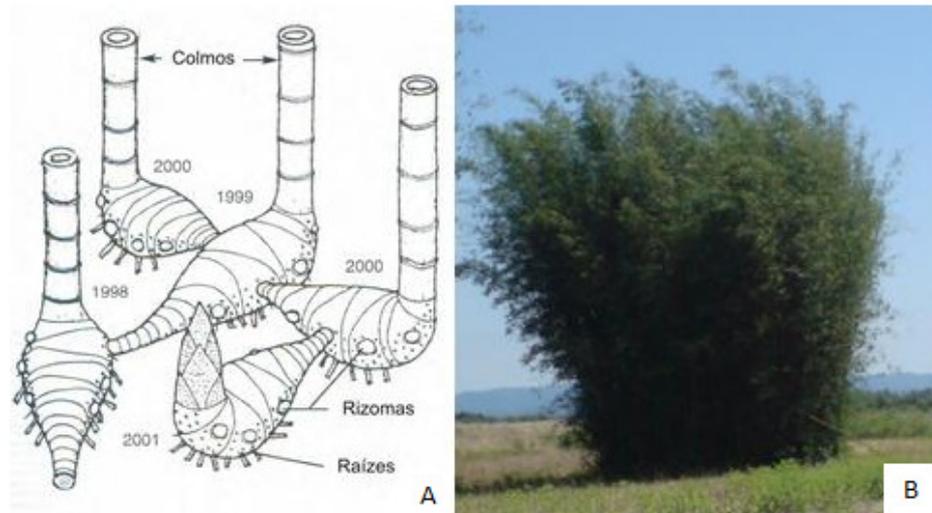


Figura 4 – (a) Rizoma entouceirante; (b) Touceira de *Bambusa tuldooides*

Fontes: (a) Lopes (2003)

Os bambus alastrantes são resistentes às temperaturas frias e se encontram mais em zonas temperadas. Lopes (2003) descreve os rizomas como longos, delgados e de formato cilíndrico. O autor acrescenta que o rizoma pode crescer entre 1 e 6 metros por ano, formando uma teia que pode atingir entre 50 e 100 mil metros lineares por hectare. Esse tipo de bambu apresenta ramos e folhas nas partes altas do colmo mesmo antes que este atinja sua altura final. O período de brotação dos colmos ocorre no início da estação chuvosa. A Figura 5A mostra o sistema de rizoma alastrante; a 5B, os indivíduos do tipo alastraste

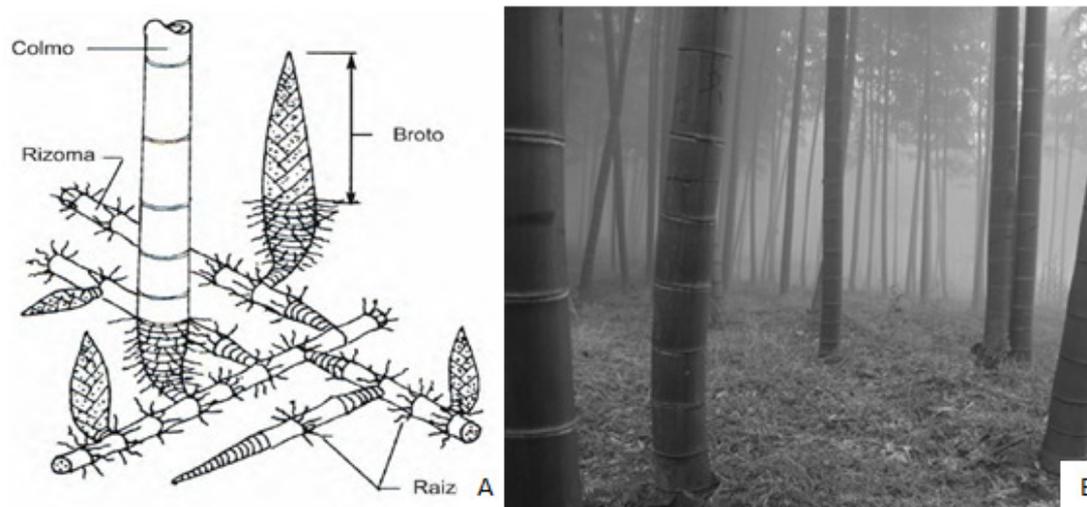


Figura 5 – (a) Rizoma alastrante; (b) Bambu alastrante

Fontes: (a) Lopes (2003); (b) Shanti Primala (2007)

3.2 Distribuição geográfica

A maioria das espécies de bambu está localizada em regiões de clima tropical e subtropical (Figura 6), e uma minoria das espécies em regiões de altas latitudes temperadas (LEE et al., 1994). Desde o século XIX, o cultivo do bambu vem sendo introduzido na parte oeste da Europa, em países como Espanha, Itália e Portugal (OPRINS PLANT, 1997). Tais gramíneas crescem em temperaturas entre 8° e 36°C, embora se desenvolvam melhor em regiões tropicais e subtropicais (TEIXEIRA, 2006).

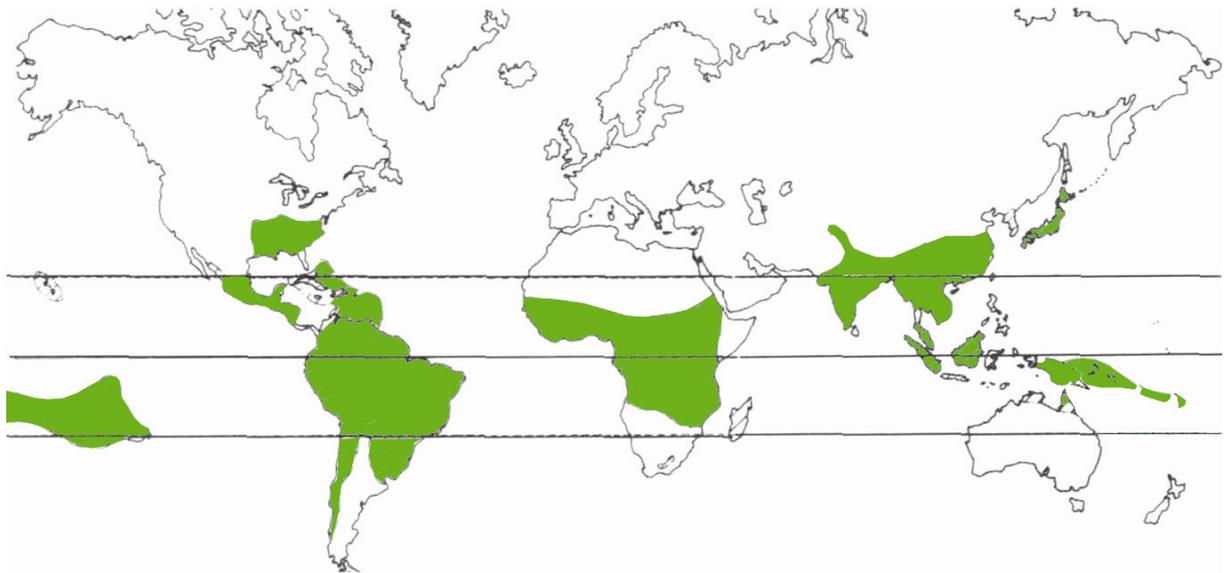


Figura 6 – Distribuição das espécies de bambu no mundo

Fonte: Lopez (2003)

Nesse contexto, Oliveira (2006) afirma que todas as espécies que foram trazidas para o Brasil apresentaram boa adaptação e se comportam como nativas. Estas espécies são pertencentes ao gênero *Bambusa* (*B. vulgaris*, *B. tuldoides*, *B. tulda*, *B. nutans*, *B. multiplex*, *B. textilis*, *B. maknoi*), *Dendrocalamus* (*D. giganteus*, *D. latiflorus*, *D. asper* e *D. strictus*) e *Phyllostachys* (*P. aurea* e *P. pubescens*).

Melkania (2004) ressalta que o continente asiático possui aproximadamente 65 gêneros e 900 espécies de bambu. A Índia, favorecida pelo seu clima tropical, conta com 136 espécies distribuídas em 23 gêneros que em sua maioria estão localizadas em unidades de conservação (BISWAS, 2004). Na América são encontradas 40% das espécies de bambus lenhosos do mundo aproximadamente 32 espécies em 22 gêneros. O Brasil é o país de maior diversidade e reúne 81% dos gêneros (LONDOÑO, 1991). Na Figura 7 observa-se a distribuição estimada por estado no Brasil, segundo estudos do SEBRAE.

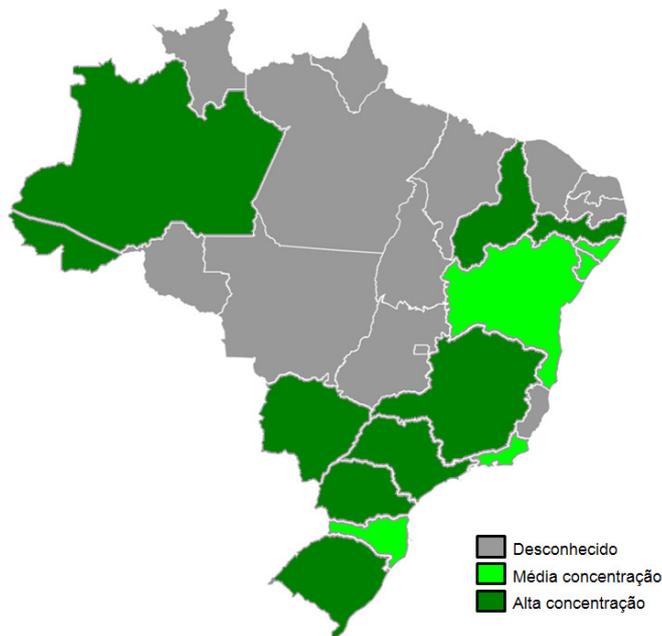


Figura 7 – Distribuição estimada de bambus por Estado

Fonte: SEBRAE (2006)

De acordo com Junior (2008), apesar de todo esse potencial, o Brasil ainda não dispõe de grandes plantios. O próprio autor salienta que, devido a esse fato, a exploração do bambu está restrita aos usos tradicionais, como em construções temporárias e móveis artesanais.

3.3 Características físicas e mecânicas dos colmos

As propriedades do colmo de bambu são determinadas por sua estrutura anatômica, na forma de lenho, sendo que nos internós as células são axialmente orientadas, enquanto que nos nós aparecem interconexões transversais (LIESE, 1998). O mesmo autor, em 1985, definiu que o tecido formador do colmo é composto por células de parênquima, por feixes vasculares e fibras. O colmo todo, de um modo geral, compreende cerca de 50% de parênquima, 40% de fibra e 10% de tecidos condutores, e seus principais constituintes são celulose, hemicelulose e lignina, semelhante à madeira (Figura 8).

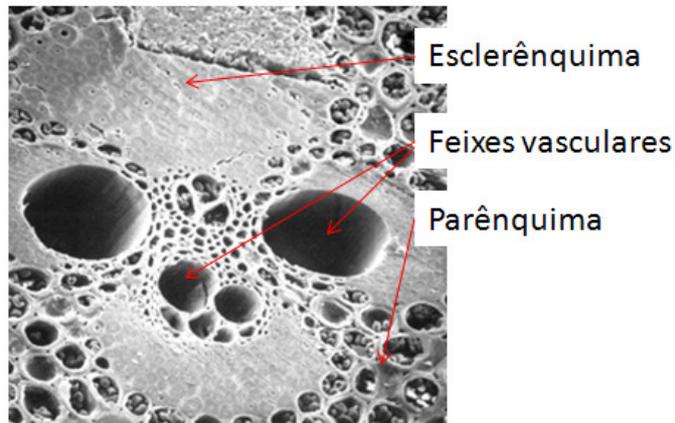


Figura 8 – Corte transversal do colmo

Fonte: Liese (1998)

O diferencial do bambu, quando comparado a outros materiais vegetais estruturais, é a sua alta produtividade, visto que 2 anos e meio após ter brotado do solo o bambu apresenta resistência mecânica estrutural; não existindo, neste aspecto, nenhum concorrente no reino vegetal (GHAVAMI, 1989). Liese (1998) acrescenta que o aumento do diâmetro dos colmos, originários de uma mesma moita, ocorre em função da idade, alcançando o máximo após quatro a cinco anos de plantio.

Pereira e Beraldo (2007) ressaltam que o bambu apresenta excelentes propriedades mecânicas (Tabela 2), influenciadas pela idade, massa específica e teor de umidade do colmo, mas dependem, principalmente, do teor de fibras, responsável pela sua resistência.

Tabela 2 – Resistência mecânica de algumas espécies de bambu

Tração (MPa)	Compressão (MPa)	Flexão (MPa)	Cisalhamento (MPa)	Espécie
135	40	108	46	<i>Dendrocalamus giganteus</i>
285	28	89	6,6	<i>Dendrocalamus asper</i>
103	27	75	56	<i>Bambusa multiplex</i>
111	34	93	54	<i>Bambusa tuldoides</i>
82	27	78	41	<i>Bambusa vulgaris</i>
149	46	124	41	<i>Bambusa Schrad</i>
297	34	76	9,5	<i>Bambusa arundinacea</i>
130	42	102	48	<i>Guadua superba</i>
237	29	82	8,0	<i>Gigantochloa verticillata</i>
120	42	-	-	<i>Plyllostachys babusoides</i>
296	30	84	7,2	<i>Gigantochloa apus</i>
288	31	97	8,2	<i>Gigantochloa atter</i>

Fonte: Pereira (2001)

De acordo com Liese (1998), a variação nas propriedades de resistência do colmo é mais acentuada na direção horizontal do que na direção vertical. Este fato ocorre devido à alta concentração de fibras na camada externa do colmo o que lhe confere grande resistência mecânica superficial, enquanto nas camadas intermediária e interna a concentração das fibras é reduzida (NUNES, 2005).

Ostavip (2007) acrescenta que o bambu apresenta boa estabilidade dimensional na faixa em que o teor de umidade vai de zero até a condição de saturação, na qual ocorre entrada ou saída de água que altera o volume do material lignocelulósico. A alteração dimensional que esta água provoca na madeira é desigual, sendo maior no sentido tangencial, depois no sentido radial, e por fim no longitudinal.

Beraldo e Azzini (2004) estudaram as variações dimensionais de algumas espécies de bambu, conforme a Tabela 3, e concluíram que a exposição a um meio

com umidade reduzida leva à retração do bambu diminuindo a sua massa específica.

Tabela 3 – Massa específica e variação dimensional de algumas espécies de bambu

Espécie	Massa específica (kg/m ³)		Variações dimensionais (%)			
	Saturada	Seca	Radial	Tangencial	Axial	Volumétrica
<i>Dendrocalamus giganteus</i>	1110	790	5,5	6,2	0,5	12,6
<i>Bambusa tuldooides</i>	1100	660	11,7	8,9	0,4	22,2
<i>Phyllostachys pubecens</i>	1080	600	6,9	6,7	0,6	14,8

Onde: Massa específica saturada (massa saturada/volume saturado); Massa específica seca (massa a 12% de umidade/volume a 12% de umidade).

Dessa forma, o bambu apresenta-se como um material propício ao desenvolvimento de produtos na forma de painéis, ampliando suas possibilidades de uso e aplicações.

3.4 Matéria-prima para produção de painéis

Segundo Rowell et al. (2000), a princípio, os painéis manufaturados podem ser obtidos a partir de qualquer material lignocelulósico que lhes confira alta resistência mecânica e massa específica préestabelecida, já que a composição química dos materiais lignocelulósicos é semelhante à das madeiras duras.

A madeira é uma das matérias-primas mais utilizadas e apreciadas para a produção de painéis, devido ao seu aspecto decorativo, sua fácil trabalhabilidade, e também ao baixo consumo energético para sua obtenção, dentre outras peculiaridades (MELO, 2009). Porém, Macedo et al. (2007) destacam que, nos

próximos anos, existirá um descompasso entre a demanda e a oferta de madeira e, conseqüentemente, haverá aumento no preço da madeira, surgindo, assim, a necessidade de uso racional deste recurso vegetal.

Os estudos dos parâmetros que irão determinar a qualidade dos painéis de madeira são de suma importância para o uso eficiente da matéria-prima (MENDES, 2006). Na Tabela 4, estão dispostos os parâmetros determinantes para a confecção de painéis de boa qualidade física e mecânica. Maloney (1993) contribui afirmando que estes parâmetros interagem entre si. Portanto, torna-se necessário no estudo considerar dois ou mais dos parâmetros descritos.

Tabela 4 – Fatores que afetam as propriedades dos painéis

Inerentes à madeira	Inerentes ao processo
Espécies	Massa específica dos painéis
Massa específica da madeira	Razão de compactação
pH	Composição dos painéis
Teor de umidade	Resina e parafina
Extrativos	Dimensão e orientação das partículas
Local de crescimento	Umidade das partículas
Idade cambial	Tempo de fechamento da prensa e de prensagem
Forma do tronco	Pressão específica

Fonte: Maloney (1993).

Uma forma eficiente do uso da madeira é a produção de painéis reconstituídos, em que, dependendo do tipo, podem ser utilizadas toras de pequenas dimensões, baixa qualidade e menor massa específica (HILLIG et al., 2002). Deste modo, torna-se possível o desenvolvimento de produtos engenheirados, mais homogêneos e de alto valor agregado. A Figura 9 exemplifica os derivados da madeira sólida que são utilizados para a obtenção de produtos compostos. À medida que se segue a linha diagonal, decresce o tamanho dos

elementos; amplia-se as possibilidades de ajuste em diversas formas; e aumenta o trabalho formal.

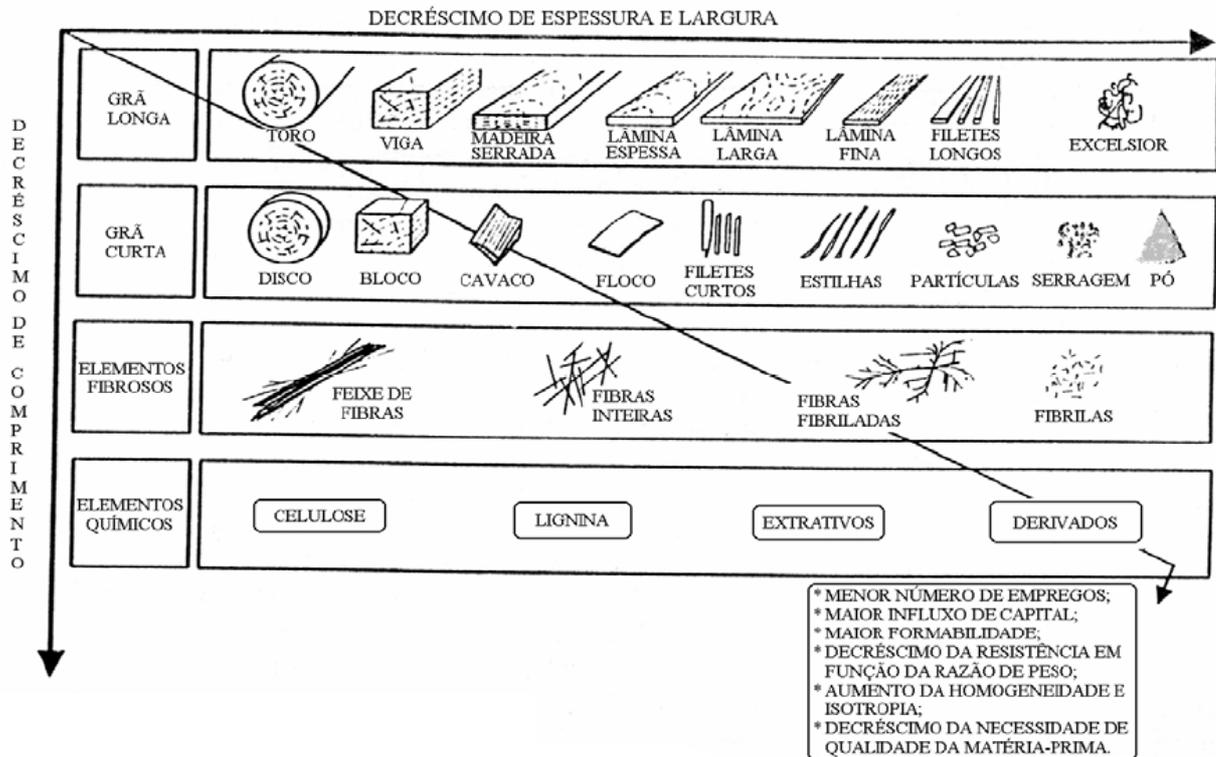


Figura 9 – Derivados da madeira sólida

Fonte: Marra (1993)

Para Maloney (1993), uma alternativa viável é o uso do material florestal de desbaste e desrama, resíduos industriais grosseiros (costaneiras, sobras de destopo, miolos de toras laminadas), resíduos industriais finos (pó-de-serra e cavacos de plainas), cavacos de madeira resultantes do beneficiamento na indústria de móveis e carpintaria ou, ainda, bagaço de cana-de-açúcar, palha de arroz, dentre outros resíduos agrícolas, puros ou misturados com partículas de madeira.

Similar à madeira o bambu é um material lignocelulósico que apresenta alta resistência (KAI e XUHE, 2005), ampla distribuição geográfica no Brasil (SILVA, 2005) e é uma espécie considerada subutilizada (SASAOKA, 2009). Polucha et al. (2006) acrescentam que o bambu possui alta produtividade por área, sendo possível o cultivo em áreas inóspitas e degradadas. Assim, o bambu pode ser uma boa

alternativa para a produção de painéis reconstituídos e, por consequência, favorecer a diversificação dos produtos engenheirados fabricados.

3.5 Painéis produzidos à base de madeira

Há inúmeras vantagens de se utilizar os painéis reconstituídos de madeira em relação à utilização da madeira em seu estado natural, uma vez que as dimensões dos painéis não estão relacionadas às dimensões das árvores e à qualidade da madeira. Há também a possibilidade de se eliminar muitos defeitos provenientes da secagem, da anatomia da árvore, como nós, medula e desvios da grã, e reduzir a anisotropia, o que confere ao produto final menor heterogeneidade do que a encontrada na madeira serrada (MENDONÇA, 2008; MELO, 2009).

Nesse sentido, Silva (2000) acrescenta que é possível o uso de aditivos para agregar características necessárias aos painéis, como por exemplo, a impermeabilidade, resistência ao fogo e à deterioração por agentes biológicos, aumentando a durabilidade e a diversificação do seu uso. Outra forma de agregar propriedades, segundo Uchimura (2006), é o uso de materiais compostos formados por dois ou mais componentes combinados para produzir painéis com propriedades específicas, normalmente superiores às dos materiais originais. A interação entre esses materiais pode gerar propriedades não existentes nos materiais originais.

Os painéis de madeira reconstituídos podem ser classificados segundo a transformação da madeira como compostos laminados, compostos particulados e compostos de fibra (Figura 10). Os compostos laminados são os compensados, os compostos particulados são os painéis aglomerados do tipo convencional, o *Wafer board* e o OSB (*Oriented Strand Board*), além dos painéis de fibras que podem ser subdivididos em chapas de média massa específica, o MDF (*Medium Density Fiberboard*) e chapas de fibras de alta massa específica, o HDF (*Hard Density Fiberboard*) (YOUNGQUIST, 1999).

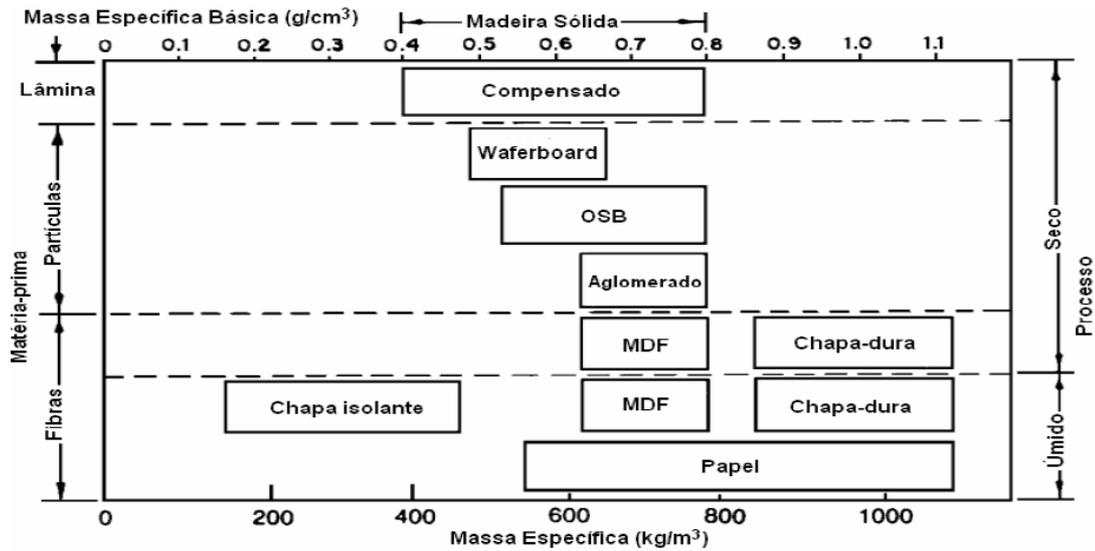


Figura 10 – Classificação dos painéis de madeira pela matéria e massa específica

Fonte: Suchsland e Woodson adaptado (1986)

Melo (2009) destaca que a vasta extensão territorial aliada à quantidade e à qualidade dos sítios para cultivos florestais de rápido crescimento pode fazer do Brasil um importante produtor mundial de painéis de madeira. No Brasil, a matéria-prima utilizada pelas indústrias de painéis provém em sua maior parte de florestas plantadas, em que se destacam as espécies dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*.

3.6 Painéis produzidos à base de bambu

A madeira sólida apresenta uma série de fatores limitantes ao seu uso, como defeitos e nós. O bambu, por sua vez, é um tubo vegetal que apresenta vazio central e assim como a madeira apresenta defeitos e nós. Portanto, para melhorar a resistência mecânica, diminuir as instabilidades dimensionais e reaproveitar os resíduos, tanto da madeira como do bambu, uma solução é a fabricação de produtos engenheirados ou reconstituídos como placas, painéis, pisos e vigas (OSTAPIV, 2007).

Nunes (2005) cita que os bambus apresentam características físicas peculiares devido a sua forma de crescimento. Enquanto as árvores crescem em sentido radial em sua seção, desenvolvendo a estrutura de caule, galhos e folhas simultaneamente, os bambus brotam com seu diâmetro definitivo e crescem verticalmente sem nenhuma ramificação horizontal. Entretanto, López (2003) ressalta que todos os tipos de painéis produzidos com madeira podem ser manufaturados com bambu, utilizando-se os mesmos princípios e equipamentos, exceto para a produção de compensado de bambu, sendo necessário para isso maquinário específico.

Entre os fatores que favorecem diversas utilizações do bambu, segundo Dunkelberg (1985), tanto na produção artesanal quanto na indústria ou na arquitetura, destacam-se sua facilidade de manuseio e transporte, pela leveza do material, e a simplicidade das operações necessárias para poder transformá-lo. Corroborando, Oliveira (2006) acrescenta que a variedade de usos do bambu vai desde fins alimentares, confecção de utensílios domésticos, até a construção de moradias. Recentemente, diversas iniciativas têm demonstrado grande sucesso na utilização do bambu para fins industriais, como na produção de pisos, revestimentos laminados, móveis, papel e etanol (AZZINI et al., 1987).

Pereira e Beraldo (2007) propuseram um organograma abordando as possíveis utilizações do bambu, exemplificando as formas em que o mesmo é utilizado, tanto no formato natural quanto na forma processada e industrializada (Figura 11).

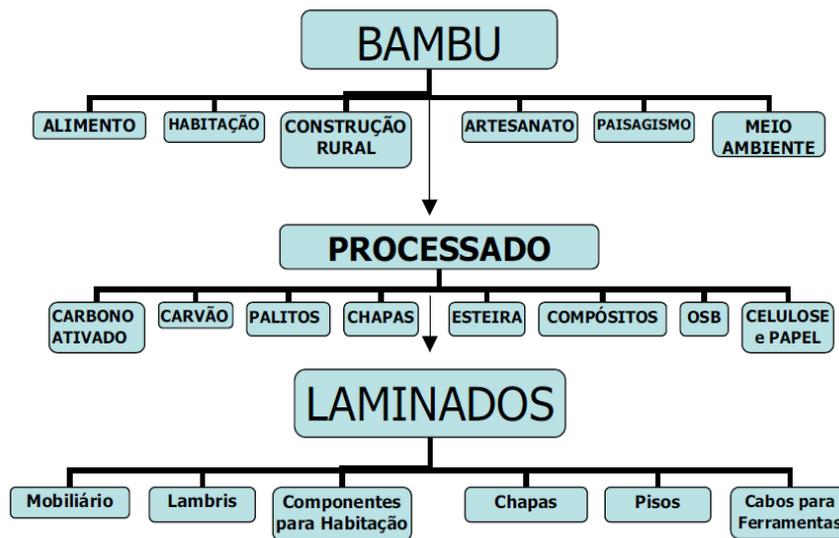


Figura 11 – Utilizações possíveis para o bambu

Fonte: Pereira e Beraldo (2007)

3.7 Painéis aglomerados produzidos à base de madeira e bambu

Para a fabricação experimental dos painéis particulados de bambu, basicamente, são apropriados os procedimentos utilizados na produção de chapas de madeiras. Os procedimentos consistem na redução da madeira, (correspondente à produção de partículas) na peneiragem, secagem, mistura das partículas com o adesivo, formação do colchão, prensagem a quente e o condicionamento das chapas.

Seguindo esses procedimentos, Almeida et al. (2008) verificou que os painéis de partículas de *Pinus ssp.* e de bambu (*Dendrocalamus giganteus*) apresentaram resultados superiores nos ensaios físicos quando misturadas em 50% de pinus e de 50% bambu. Neste contexto, Bai (1996) relata que estudos experimentais mostraram que os painéis de partículas de bambu têm comportamento mecânico melhor e são mais estáveis nas dimensões do que a chapa de partículas de madeira. Isso se deve às propriedades termoplásticas do material e da interconexão das fibras de bambu.

Em seu estudo, Vital e Haselein (1988) concluíram que todas as chapas produzidas com misturas de madeira e bambu, exceto as produzidas apenas com

bambu (*Bambusa vulgaris*), apresentaram resistência mecânica e de arrancamento de parafuso superiores ao valor mínimo estabelecido pelas normas comerciais. Já Hiziroglu et al. (2005) recomenda a produção de painéis com 50% de partículas de bambu (*Dendrocalamus asper*) e 50% de eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis*) e 8% de teor de adesivo (ureia-formaldeído), pois estes resultaram em propriedades mecânicas superiores às requeridas pela Norma Japonesa Industrial (JIS A 5908).

Arruda (2009) comparou painéis produzidos com bambu (*Guadua magna*) e *Pinus taeda*, utilizando ureia-formaldeído e fenol-formaldeído e observou que não houve diferenças significativas entre os adesivos nos ensaios mecânicos. Porém, quanto ao teor de adesivo, na literatura existe variação de 8 a 10% recomendados, respectivamente, por Moreno et al. (2007) e José et al. (2006) ambos para *Bambusa vulgaris*. Já para painéis homogêneos de *Dendrocalamus giganteus*, Valarelli et al., (2010) analisaram 4 teores de adesivo (6, 8, 10 e 12%) e concluíram que os valores não satisfizeram a norma americana CS 236-66.

Rafael et al. (2005) produzindo painéis aglomerados de bambu (*Dendrocalamus giganteus*) e resíduos de celulose, concluíram que as chapas de bambu possuem baixa massa específica, excelentes qualidades termo-acústicas e boa resistência mecânica. Stangerlin et al. (2010) acrescentam que a resistência ao ataque de fungos apodrecedores (*Gloeophyllum trabeum* e *Trametes versicolor*) é semelhante nas chapas homogêneas de bambu (*Bambusa vulgaris*) e de madeira (*Eucalyptus grandis*).

De acordo com o exposto, os painéis aglomerados de bambu, de uma forma geral, podem ser vantajosos quando produzidos com algum tipo de madeira. Entretanto, são escassos os estudos utilizando a espécie *Bambusa tuldoides* para a produção de painéis aglomerados homogêneos ou com partículas de madeira.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Obtenção e processamento da matéria-prima

Para a realização deste trabalho, foram utilizadas 3 árvores adultas de pinus (*Pinus taeda*), 3 de eucalipto (*Eucalyptus grandis*) e 170 indivíduos adultos de bambu (*Bambusa tuldoides*) distribuídos em três touceiras. A madeira de pinus foi obtida de plantios homogêneos com aproximadamente 25 anos, da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO), já a madeira de eucalipto foi procedente de plantios homogêneos localizados no campus da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) com aproximadamente 15 anos, enquanto os indivíduos de bambu, de aproximadamente 3 anos, foram cedidos pela Base Aérea de Santa Maria (BASM), todos localizados no município de Santa Maria-RS.

As árvores selecionadas para o abate possuíam fuste reto e com boas condições fitossanitárias. Após o abate, os indivíduos foram seccionados em toras de 2 m cada. No desdobro foram obtidas pranchas de 5 cm de espessura que, em seguida, foram seccionadas perpendiculares à grã obtendo-se blocos com 5 cm de espessura (sentido tangencial), 7 cm de comprimento (sentido longitudinal) e largura variável (sentido radial) de acordo com o diâmetro da tora (Figura 12). Todos os blocos de madeira foram imersos em água por dez dias para facilitar a obtenção das lascas no *flaker* (Figura 14 a).

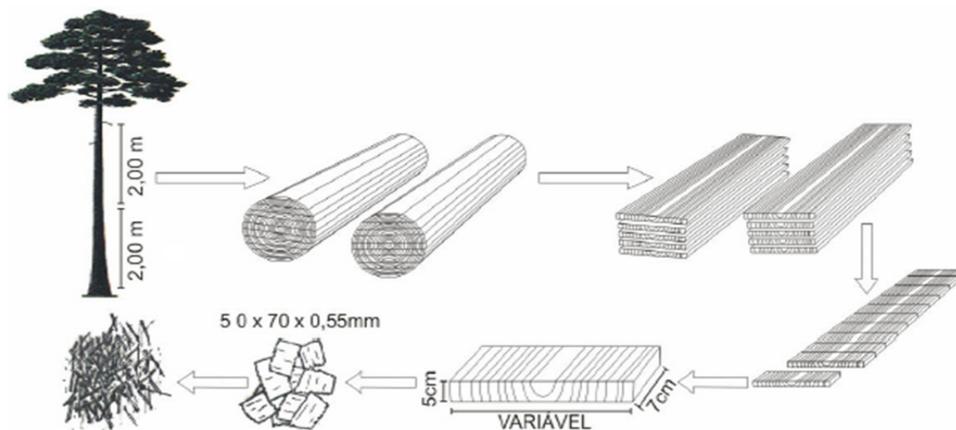


Figura 12 – Metodologia para obtenção das partículas de pinus e eucalipto

Fonte: Adaptado de Melo (2007)

Os bambus foram seccionados transversalmente em varas de aproximadamente 1,7 m, e longitudinalmente obtendo-se lascas de 1,7 m de comprimento e largura inferior a 5 cm para facilitar o processo de trituração (Figura 13). A massa específica básica de cada espécie (pinus, eucalipto e bambu) foi determinada em trabalhos anteriores, respectivamente por Modes (2010), Melo (2009) e Morais (2010).

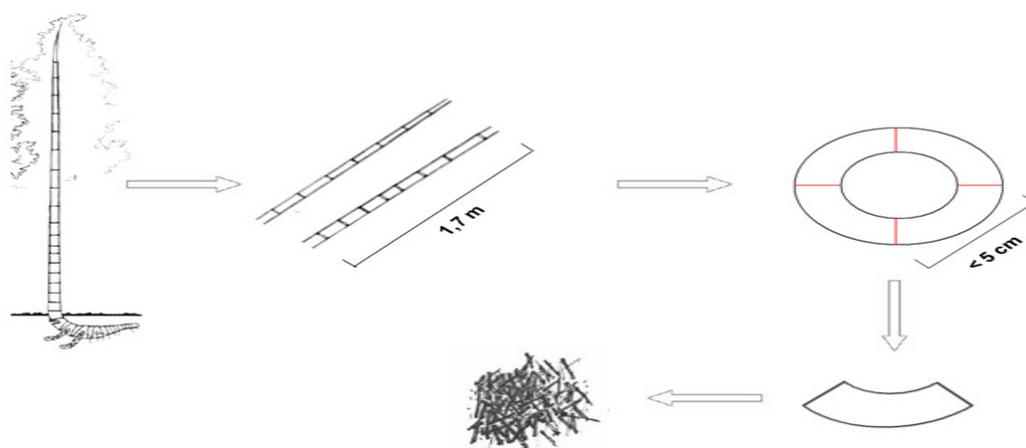


Figura 13 – Metodologia para obtenção de partículas de bambu

As lascas de pinus, eucalipto e bambu foram trituradas, separadamente, com o auxílio de um moinho de martelo (Figura 14 b) e em seguida foram submetidas à secagem em estufa a 60°C por 1 dia (Figura 14 c). Após a secagem, as partículas foram selecionadas em peneira de 1,0 mm x 1,0 mm, para retirada do pó e, em seguida, por uma de 5,0 mm x 5,0 mm. As partículas que passaram foram utilizadas na confecção dos painéis (Figura 14 d).

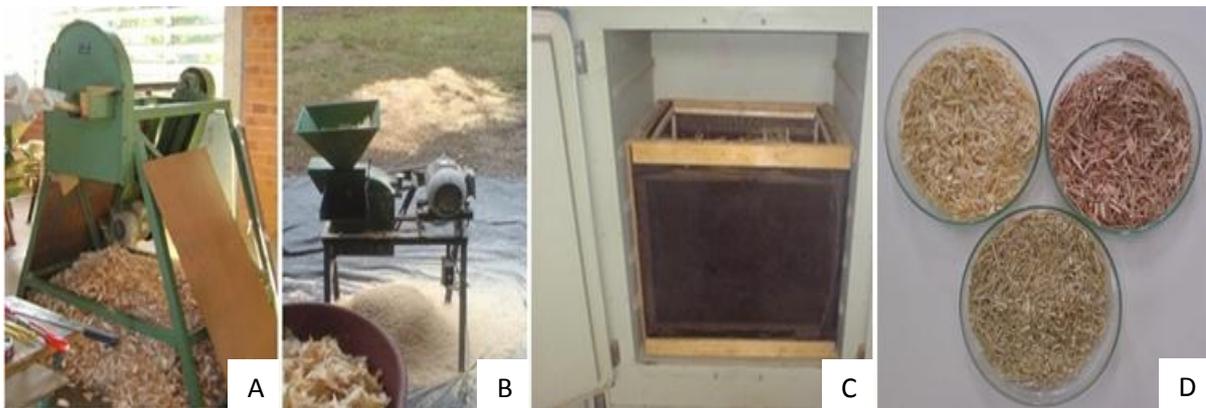


Figura 14 – (a) Flaker (b) Moinho de martelos (c) Secagem em estufa (d) Partículas utilizadas

Das partículas selecionadas, foram retiradas 100 de cada espécie, de forma aleatória, para o cálculo do coeficiente de esbeltez (CE), representado pela relação entre o comprimento e a espessura da partícula. Ginzel e Peraza (1966) explicam que o coeficiente de esbeltez das partículas pode ser associado à massa específica básica da madeira, originando o CEMEb, que foi calculado conforme Equação 1. Hillig (2000) acrescenta que esta equação pressupõe a influência da massa específica básica da espécie na resistência das partículas produzidas.

$$CEMEb = \frac{\text{Comprimento da partícula}}{\text{Espessura da partícula} \times MEb} \quad (1)$$

Onde:

MEb = Massa Específica Básica da madeira.

4.2 Preparo do adesivo

No presente trabalho foi utilizado 8% de adesivo ureia-formaldeído, contendo aproximadamente 65% de sólidos, com base na massa seca das partículas. O adesivo conhecido comercialmente como Cascamite foi produzido e doado pela empresa Hexion Química Ind. e Com. Ltda (Curitiba - PR).

4.3 Produção dos painéis

As partículas peneiradas foram condicionadas em estufa a 50°C durante 24 horas, atingindo umidade de equilíbrio de aproximadamente 3%. Foram separadas três amostras para determinação do teor de umidade após o condicionamento das partículas e, quando necessário, era adicionada a quantidade necessária de água para que as partículas contivessem a umidade estabelecida de 3%. Em seguida, as partículas foram retiradas da estufa, misturadas, quando necessário, e levadas ao tambor rotativo (Figura 15 a), onde foi aplicado o adesivo com o uso de uma pistola acionada por compressor de ar, com pressão de 8 Kgf/cm² e vazão de 50 g/min (Figura 15 b). Para facilitar a aplicação do adesivo, foi adicionada a quantidade de água necessária para ajustar o teor de umidade do colchão (TUc) em aproximadamente 12%.

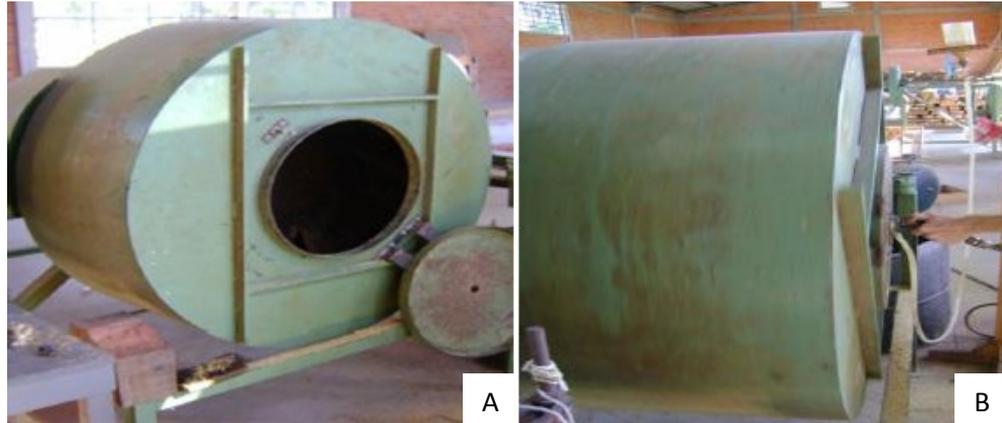


Figura 15 – (a) Tambor rotativo (b) Pistola de ar

Da massa homogênea gerada, retirou-se amostra para a determinação do TUC pelo método gravimétrico e estabeleceu-se que, quando esta apresentasse uma variação superior a ± 2 da estimada, o material era descartado e o processo repetido. Em seguida, a massa gerada foi pesada em balança de precisão, de forma a gerar painéis com $0,65 \text{ g/cm}^3$, e levada a um molde de madeira de $50 \times 50 \times 20$ cm, sobreposta em uma chapa de aço galvanizado com 1,0 mm de espessura e revestida com papel manteiga, sendo realizada a pré-prensagem à temperatura ambiente por aproximadamente 4 minutos (Figura 16 a).

Após a prensagem a frio, o colchão de partículas foi retirado do molde e coberto com uma folha de papel manteiga e uma chapa de aço galvanizado. O colchão foi levado à prensa hidráulica, com capacidade para aplicação de carga de 100 toneladas e pratos com dimensões de $60 \text{ cm} \times 60 \text{ cm}$ (Figura 16 b). A pressão específica foi ajustada para 30 Kgf/cm^2 , a temperatura dos pratos à 180°C e o tempo de prensagem para 10 minutos, a fim de promover a cura do adesivo.

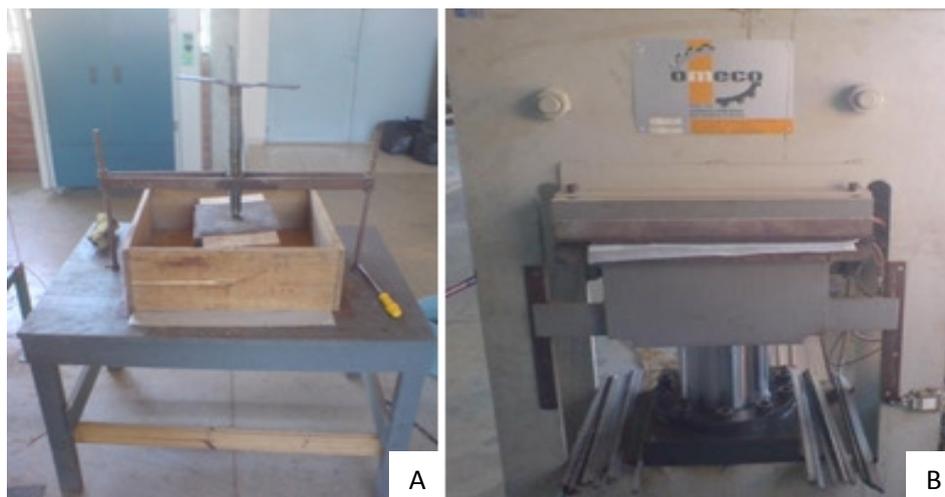


Figura 16 – (a) Pré-prensagem à temperatura ambiente (b) Prensa hidráulica

A espessura do painel foi estabelecida por duas barras de aço com altura de 0,95 cm, as quais foram colocadas nas laterais do colchão, limitando o fechamento da prensa. Após a prensagem, os painéis foram identificados, lixados e tiveram suas bordas aparadas, passando para as dimensões de 49 cm x 49 cm x 0,95 cm. Estes foram dispostos em câmara climatizada (20°C e 65% de umidade relativa) até massa constante. Após a climatização, os corpos de prova foram confeccionados para os ensaios físicos e mecânicos; e novamente levados à câmara climatizada, onde permaneceram até o momento dos testes.

4.4 Tratamentos avaliados

Os tratamentos avaliados foram 12 proporções entre as partículas de bambu, pinus e eucalipto (Tabela 5). Ao todo foram confeccionados 36 painéis com dimensões de 50 cm x 50 cm x 0,95 cm.

Tabela 5 – Proporções de bambu/pinus/eucalipto utilizados na confecção dos painéis

Tratamentos*	Partículas (%)		
	Bambu	Pinus	Eucalipto
T1	100	0	0
T2	75	25	0
T3	50	50	0
T4	25	75	0
T5	0	100	0
T6	0	0	100
T7	25	0	75
T8	50	0	50
T9	75	0	25
T10	25	25	50
T11	25	50	25
T12	50	25	25

*Cada tratamento foi realizado com três repetições

4.5 Ensaio físicos, mecânicos e não destrutivos

Os corpos de prova para os ensaios foram confeccionados conforme a Figura 17. Para avaliação da qualidade das chapas produzidas foram realizados ensaios físicos (teor de umidade; massa específica; absorção d'água; inchamento em espessura) e mecânicos (flexão estática; arrancamento de parafusos e ligação interna), adotando-se as recomendações da norma ASTM D 1037 (1998) e o uso de ultrassom para verificar possíveis relações das propriedades físicas e/ou mecânicas dos painéis.

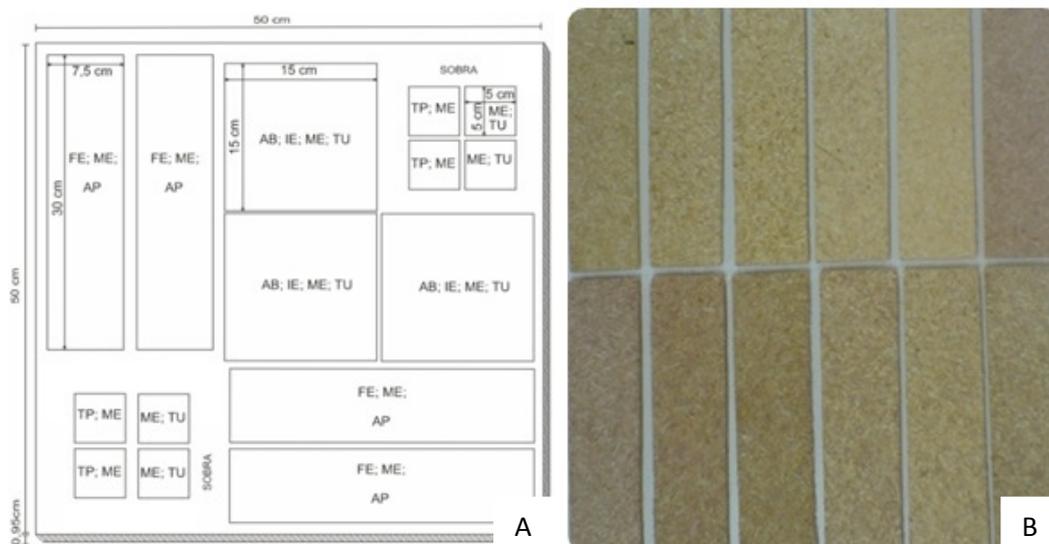


Figura 17 – (a) Modelo de corte das chapas para a confecção dos corpos-de-prova (b) Amostras de cada tratamento para o ensaio de flexão estática

Onde: FE = flexão estática; ME = massa específica; TU = teor de umidade; AP = arrancamento de parafusos; AB = absorção de água; IE = inchamento em espessura; TP = tração perpendicular a superfície do painel;

4.5.1 Massa específica e teor de umidade

Os corpos de prova foram cortadas com dimensões nominais de 5 cm x 5 cm x 0,95 cm em largura, comprimento e espessura. Após a aclimatização foram medidas as dimensões reais e a massa ao teor de umidade de equilíbrio e, após a secagem em estufa a 103°C, a massa das amostras secas. Estes dados foram utilizados para o cálculo da massa específica nominal (ME_n) e do teor de umidade de equilíbrio (TU_{eq}) de cada amostra (Equações 2 e 3). Foram utilizadas quatro amostras por painel, totalizando 12 corpos de prova para cada tratamento.

$$ME_n (\%) = \frac{\text{Massa ao teor de umidade de equilíbrio (g)}}{\text{Volume ao teor de umidade de equilíbrio (cm}^3\text{)}} \times 100 \quad (2)$$

$$TU_{eq} (\%) = \frac{\text{Massa a umidade de equilíbrio} - \text{Massa seca}}{\text{Massa seca}} \times 100 \quad (3)$$

4.5.2 Absorção d água e inchamento em espessura

Foram utilizados corpos de prova com dimensões nominais de 15 cm x 15 cm x 0,95 cm, em largura comprimento e espessura, respectivamente. Nos corpos de prova foram demarcados oito pontos em suas superfícies, onde foram medidos os valores de espessura. As espessuras e as dimensões laterais foram obtidas com paquímetro digital, com 0,01 mm de precisão; e a massa com balança digital, com precisão de 0,01 g. Estes dados foram utilizados para o cálculo da absorção d água e inchamento em espessura de cada amostra (Equação 3 e 4). Todas estas variáveis foram obtidas das amostras ao teor de umidade de equilíbrio, após 2 e 24 horas de imersão em água (Figura 18).

$$AB (\%) = \frac{\text{Massa média final} - \text{Massa média inicial}}{\text{Massa média inicial}} \times 100 \quad (4)$$

$$IE (\%) = \frac{\text{Espessura média final} - \text{Espessura média inicial}}{\text{Espessura média inicial}} \times 100 \quad (5)$$

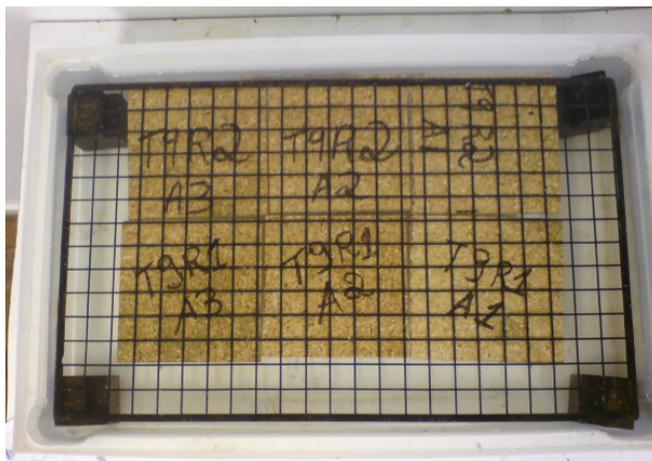


Figura 18 – Sistema adotado para o teste de absorção d água e inchamento em espessura

4.5.3 Flexão estática

Os corpos de prova possuíam 30 cm x 7,5 cm x 0,95 cm, em largura comprimento e espessura, respectivamente, sendo utilizados 12 corpos de prova para cada tratamento. Foram mensuradas as dimensões e a massa ao teor de umidade de equilíbrio para a determinação da massa específica imediatamente antes do teste.

Os testes foram realizados em máquina universal de ensaios hidráulica, marca Amsler, com capacidade para 20 toneladas (Figura 19 A). O vão entre apoios foi de 24 vezes a espessura (22,8 cm), e a velocidade de aplicação de carga de aproximadamente 5 mm/minuto, obtida pela Equação 6 (ASTM D - 1037, 1995).

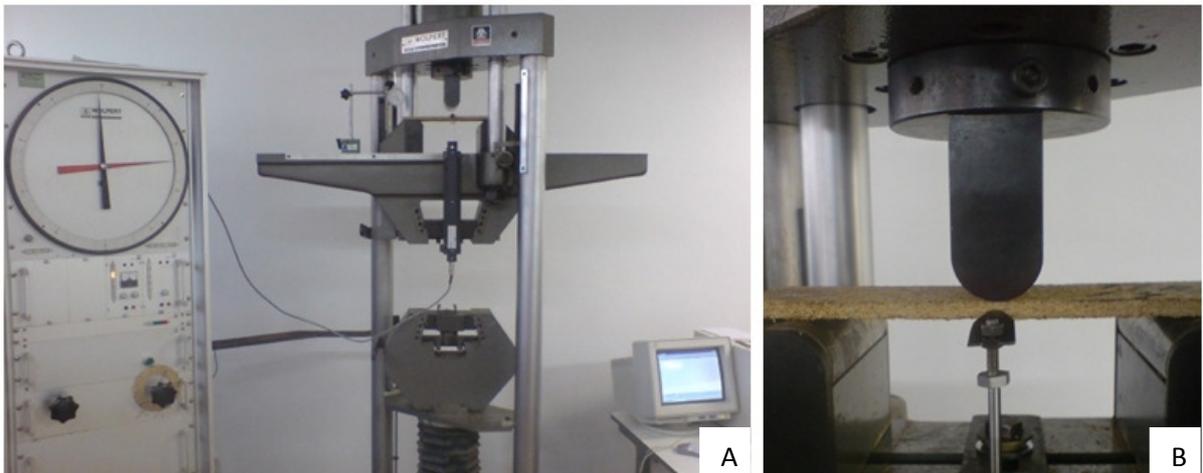


Figura 19 – (a) Máquina universal de ensaios hidráulica (b) Realização do teste de flexão estática

A máquina de ensaios foi ligada a um computador por meio de uma placa de aquisição de dados. Os dados obtidos foram utilizados para a construção do gráfico Carga x Deformação, em seguida, no gráfico, foi realizado o ajuste da regressão para a parte linear, por meio de um software desenvolvido para este fim. Para os cálculos de módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) foram utilizadas as seguintes equações:

$$N = \frac{z \times L^2}{6 \times d} \quad (6)$$

$$MOR = \frac{3}{2} \times \frac{P \times L}{b \times h^2} \quad (7)$$

$$MOE = \frac{b \times L^3}{4 \times b \times h^3} \quad (8)$$

Onde:

N = velocidade de aplicação de carga (mm/minuto);

z = unidade de deslocamento da fibra (mm/mm);

L = vão entre os pontos de reação (cm);

d = espessura da amostra (mm);

- P = carga máxima aplicada (Kgf);
b1 = coeficiente de inclinação da reta de regressão;
b = largura do corpo de prova (cm);
h = espessura do corpo de prova (cm).

4.5.4 Arrancamento de parafusos

Foram utilizados os mesmos corpos de prova em que foram realizados os testes de flexão estática após o rompimento. Os dois lados resultantes destes corpos de prova foram colados um sobre o outro, o que deu origem a uma nova amostra com as dimensões de 14,5 cm x 7,5 cm x 1,9 cm, em comprimento, largura e espessura, respectivamente (Figura 20 a).

As amostras foram perfuradas ao longo da espessura e perpendicularmente à superfície da chapa, utilizando-se uma broca de 3,2 mm de diâmetro. Nesse orifício foram inseridos parafusos com 3,5 mm de diâmetro, 2,54 cm de comprimento e com 16 roscas/polegada, até 2/3 de seu comprimento. Posteriormente, foram realizados os testes na máquina universal de ensaios, em que foi obtida a resistência máxima ao arrancamento dos parafusos, utilizando-se a velocidade de 1,5 mm/minuto (Figura 20 b).



Figura 20 – (a) Amostra para o ensaio (b) Ensaio de arrancamento de parafuso
4.5.5 Tração perpendicular a superfície do painel

Foram utilizados corpos de prova (CPs) de 5 cm x 5 cm, com as faces coladas, com cola à base de epoxi, em blocos de metal (Figura 21 a). Anterior ao teste foram medidas as dimensões e o massa dos CPs. A velocidade do teste foi ajustada, com base na espessura dos CPs, em 0,76 mm/min e no momento da ruptura, registrou-se a carga máxima. Os valores de Ligação interna (LI) foram calculados por meio da relação entre a carga máxima e a área de esforço expressos em Kgf/cm² (Figura 21 b). De cada painel foram retiradas quatro amostras para esse teste, totalizando 12 por tratamento.

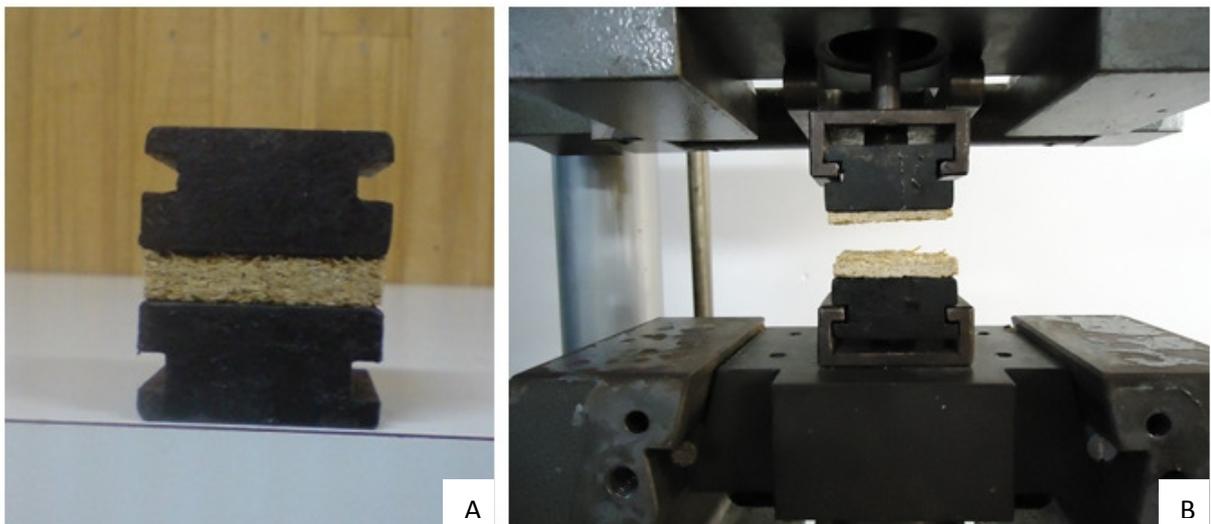


Figura 21 – (a) Blocos de metal aderidos ao painel (b) Rompimento do corpo de prova

4.5.6 Ensaio não destrutivo com ultrassom

Antecedendo o ensaio de flexão estática, foram realizados os ensaios não destrutivos com um equipamento portátil de ultrassom, dotado de transdutores de pontos secos (Figura 22 a) e de face plana com frequência de aproximadamente 50

kHz, que medem diretamente o tempo de propagação das ondas, em microssegundos (μs). A determinação do tempo de propagação das ondas foi realizada pelo método de transmissão direta, com transdutores de ponta seca, e indireta, com transdutores de face plana (Figura 22 b).

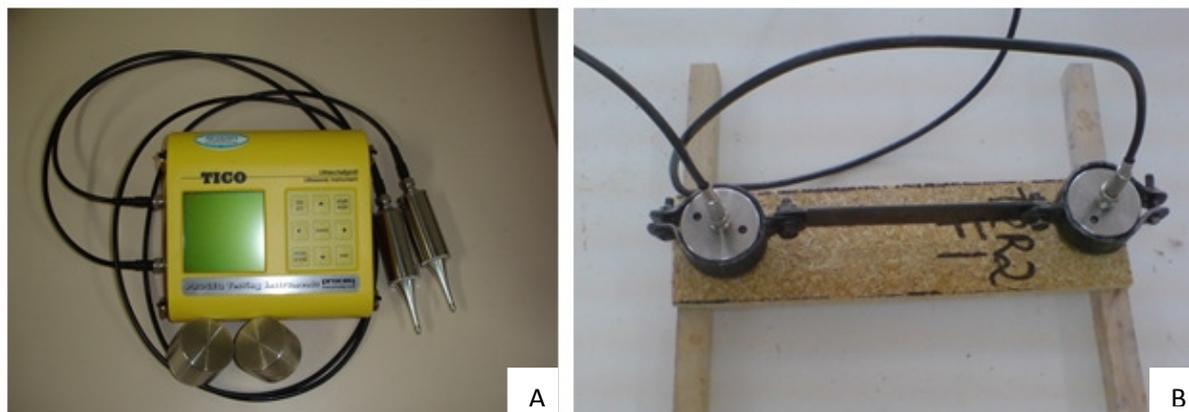


Figura 22 – (a) Equipamento de ultrassom (b) Ensaio de propagação indireta

Fonte: Stangerlin (2008)

As leituras do tempo de propagação da onda, foram obtidas a partir da razão entre a média das leituras e o comprimento do trecho percorrido pela onda; assim, foi calculada a velocidade de propagação, em metros por segundo (m/s). O MOE dinâmico foi correlacionado com as características dos corpos de prova e os resultados dos ensaios físicos e mecânicos. O cálculo do MOE dinâmico pelo método de propagação direto e indireto foi obtido por meio da Equação 9.

$$\text{MOE Din} = \text{VP}^2 \times \text{ME}_{\text{en}} \quad (9)$$

Onde:

VP = Velocidade de propagação da onda (m/s);

MOE din = MOE dinâmico (MPA);

ME_n = Massa específica aparente (kg/m³).

4.5 Análises dos resultados

Os resultados dos ensaios físicos e mecânicos foram submetidos à análise de correlação simples de Pearson, utilizando-se as seguintes variáveis: porcentagem de partícula de cada espécie, densidade aparente a 12% de umidade, teor de umidade e módulo de elasticidade direto e indireto. As variáveis resultantes dos ensaios físicos foram a absorção d'água e o inchamento em espessura, ambos após 2 e 24 horas, já os mecânicos foram os módulos de ruptura e elasticidade estático, arrancamento de parafusos e ligação interna.

O modelo máximo testado para os ensaios físicos foi elaborado com as variáveis proporção de bambu (B%); proporção de bambu ao quadrado (B%²); massa específica observada (ME_o); teor de umidade de equilíbrio (TU); e para os ensaios mecânicos as variáveis foram proporção de bambu (B%); proporção de bambu ao quadrado (B%²); massa específica observada (ME_o). As variáveis foram submetidas à análise utilizando-se o método stepwise, através do qual foi selecionado o modelo com maior coeficiente de determinação ajustado e o menor CP de Mallows. O CP de Mallows tem por objetivo avaliar o ajuste de um modelo de regressão que foi estimado usando-se o método dos mínimos quadrados ordinários. O modelo selecionado foi utilizado para análise de regressão, quando o modelo selecionado continha as variáveis ME_o e TU foram utilizadas as médias, respectivamente.

Os tratamentos constituídos por 3 espécies (T10, T11 e T12) foram analisados, visualmente, por meio de gráficos box e whisker. Esta medida foi necessária para evitar o uso de gráficos em 3 dimensões, o que dificultaria a interpretação dos dados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Características das partículas e painéis

A massa específica básica do bambu, pinus e eucalipto foi 0,456, 0,519 e 0,546 g/cm³, respectivamente. Azzini et al. (1988), estudando vinte e uma progênies de *Bambusa tuldoides*, encontraram para a massa específica valores que variavam de 0,407 a 0,712 g/cm³, sendo que os valores observados pertencem a esta faixa de variação. O mesmo ocorreu com Oliveira et al. (2006) que encontraram valores entre 0,430 e 0,560 g/cm³ para *Pinus taeda* com 9 e 20 anos. Entretanto, Silva et al. (2004) observaram a massa específica média para *Eucalyptus grandis* em 0,410 g/cm³, valor distinto ao obtido no presente estudo.

Kollmann e Côté (1968) afirmam que as variações da massa específica estão relacionadas às diferenças nas estruturas celulares, tendências hereditárias, influências fisiológicas e mecânicas, assim como fatores ambientais que afetam a estrutura e, conseqüentemente, sua massa específica. Também a durabilidade natural pode ser influenciada pela densidade.

O teor de umidade das partículas, após a secagem de 24 horas a 50°C, variou de 2,23 a 2,86% sendo necessária a adição de água para a correção da umidade para 3%.

O coeficiente de esbeltez médio observado por espécie foi de 28,18 para o bambu, de 9,51 para o pinus, e de 10,85 para o eucalipto (Tabela 6). Nota-se que a geometria das partículas de bambu foi distinta das demais espécies, fato que pode ser explicado, conforme Júnior (2004), pelo formato da fibra dos bambus, que geralmente são longas e estreitas. De acordo com Vital et al. (1992), partículas longas e finas (esbeltas) produzem painéis com maior resistência à flexão estática e maior estabilidade dimensional e partículas curtas e espessas aumentam a resistência à tração perpendicular.

O coeficiente de esbeltez, considerando-se a massa específica básica da espécie (CEMEb) apresentou maior variação entre as espécies do que o CE. Hillig (2000) pressupõe que o CEMEB deveria ser similar ao CE, ou seja, a espécie de

menor massa específica deveria ter uma relação comprimento/espessura menor; todavia, esta preposição não foi observada neste estudo. O referido autor cita que este ajuste provavelmente possibilitaria a produção de partículas melhores, principalmente para espécies folhosas.

Tabela 6 – Espécie de partícula, valores do coeficiente de esbeltez (CE) e coeficiente de esbeltez associada a massa específica básica (CEMEb)

Espécie*	CE	CEMEb
Bambu	28,18	61,80
Pinus	9,51	18,32
Eucalipto	10,85	19,86

*Cada valor é uma média de 100 medições

A massa específica nominal (MEn) foi de 0,650 g/cm³; entretanto, foram observados valores variando entre 0,642 e 0,655 g/cm³. Já o teor de umidade do colchão foi preestabelecido em 12%; porém, os valores observados oscilaram de 11,89 a 13,24% (Tabela 7). Vários fatores podem ter contribuído para a variação da MEo e do TUc; entre eles a diferença de umidade entre as partículas ao serem retiradas da estufa, as pequenas parcelas aplicadas de água, adesivo, e as perdas no processo de fabricação. Hillig (2000) afirma que pequenas variações nestes parâmetros são comuns, por se tratar de variáveis de difícil controle. No entanto, as variações obtidas foram pequenas, o que proporciona maior confiabilidade nos resultados obtidos nos ensaios. Melo (2009) acrescenta que a MEo e o TUc podem interferir significativamente nas propriedades das chapas ao serem analisadas.

Tabela 7 – Tratamentos, proporções das partículas, valores da massa específica e observada (MEo) e o Teor de umidade do colchão (TUc)

Tratamento	Partículas			MEo (g/cm ³)	TUc (%)
	Bambu	Pinus	Eucalipto		
T1	100	0	0	0,650	12,82
T2	75	25	0	0,643	12,69
T3	50	50	0	0,652	12,82
T4	25	75	0	0,652	12,46
T5	0	100	0	0,648	12,84
T6	0	0	100	0,653	12,75
T7	25	0	75	0,653	12,57
T8	50	0	50	0,642	12,65
T9	75	0	25	0,646	12,85
T10	25	25	50	0,645	12,72
T11	25	50	25	0,655	12,79
T12	50	25	25	0,655	12,31

5.2 Ensaio físicos

Na Tabela 8 observam-se os valores médios resultante dos ensaios físicos para cada tratamento.

Tabela 8 – Tratamentos, proporções das partículas, valores da absorção d'água após 2 e 24 horas (AA2H e AA24H) e inchamento em espessura após 2 e 24 horas (IE2H e IE24H)

Tratamento	Partículas			TUeq (%)	AA2H (%)	AA24H (%)	IE2H (%)	IE24H (%)
	Bambu	Pinus	Eucalipto					
T1	100	0	0	10,1	91,5	101,4	24,1	29,8
T2	75	25	0	10,8	95,5	110,7	24,5	30,2
T3	50	50	0	11,1	99,7	111,1	23,4	27,7
T4	25	75	0	11,1	98,7	107,5	21,5	25,1
T5	0	100	0	11,7	88,6	100,6	19,0	23,6
T6	0	0	100	11,9	78,2	104,8	26,3	36,0
T7	25	0	75	11,0	87,3	109,5	30,2	40,7
T8	50	0	50	10,8	92,4	108,6	30,0	39,7
T9	75	0	25	10,6	92,2	107,2	31,2	37,5
T10	25	25	50	11,4	90,1	107,9	26,8	33,7
T11	25	50	25	11,5	102,6	119,9	27,2	33,7
T12	50	25	25	10,8	105,4	120,3	28,7	36,1

5.2.1 Absorção d'água

Na Tabela 9 observa-se a matriz de correlação das características físicas dos corpos de prova, dos resultados da absorção de água após 2 e 24 horas, e dos ensaios não destrutivos.

As correlações significativas, importantes, com a absorção de água a 2 e a 24 horas, foram as proporções de bambu, pinus e eucalipto, a massa específica observada e o módulo de elasticidade dinâmico direto, ambas significativas a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 9 – Matriz de correlação simples de Pearson para absorção d'água dos painéis

	%B	%P	%E	MEo	TU	AA2H	AA24H	MOEDD	MOEDI
%B	1								
%P	-	1							
%E	-	-	1						
MEo	-0,12ns	0,08ns	0,02ns	1					
TU	0,64s	-0,49s	-0,09ns	-0,18ns	1				
AA2H	0,24s	0,21s	-0,44s	-0,63s	0,27s	1			
AA24H	0,05ns	-0,01ns	-0,03ns	-0,62s	0,27s	0,75s	1		
MOEDD	-0,26s	0,27s	-0,02ns	0,43s	-0,30s	-0,29s	-0,35s	1	
MOEDI	0,08ns	0,13ns	-0,21s	0,08ns	0,01ns	-0,04ns	-0,08ns	0,16ns	1

%B = Porcentagem de Bambu; %P = Porcentagem de Pinus; %E = Porcentagem Eucalipto; MEo = Massa Específica observada; TU = Teor de umidade; AA2H e AA24H = Absorção de água após 2 e 24 horas; MOEDD = Módulo de Elasticidade Dinâmico Direto; MOEDI = Módulo de Elasticidade Dinâmico Indireto; s e ns = significativo e não significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste de correlação de Pearson.

As correlações entre o TU dos painéis e as proporções das espécies apresentaram relações distintas, ou seja, o teor de umidade aumenta com a inclusão de partículas de bambu e decresce com a inclusão de partículas de pinus. Este fato pode ser explicado por uma provável diferença entre o teor de umidade de equilíbrio das espécies, provavelmente o teor de umidade de equilíbrio do bambu seja maior do que da madeira de pinus. Neste estudo, o teor de umidade dos corpos de prova de bambu variou de 18,23 a 17,11% e da madeira de pinus de 12,50 a 13,57%.

Para a absorção d'água após 2 horas houve correlações entre as espécies, apresentando a tendência de aumento da absorção com a inserção de bambu e pinus (Tabela 9). Já com o acréscimo de eucalipto a absorção de água decresce (Tabela 9). Para a comprovação destas tendências, foi realizada a análise de regressão entre a AA2H e as proporções das espécies nos painéis.

Na Figura 23 apresenta-se a análise de regressão entre a AA2H, %B e %P, que evidencia a tendência de uma parábola, e mostra que os melhores painéis foram os homogêneos (0% de bambu e 100 de bambu). Com o aumento de bambu até os 50%, houve o acréscimo da AA2H e, a partir deste ponto, a AA2H decresce. A média encontrada para o pinus foi de 88,60%. Iwakiri et al. (2000), em painéis OSB da mesma espécie, fabricados com fenol-formaldeído, apresentaram valores na faixa entre 50,58% e 75,86% para a AA2H.

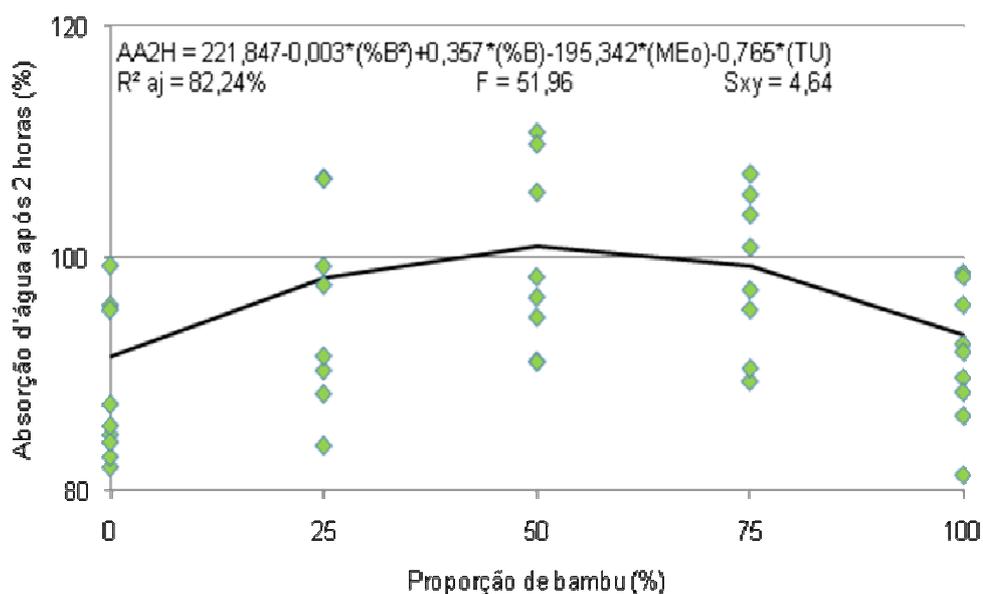


Figura 23 – Absorção d'água após 2 horas dos painéis fabricados com bambu e pinus para a MEO e o TU médios

A Figura 24 mostra o mesmo comportamento da curva entre a AA2H e a porcentagem de bambu e eucalipto, porém as menores absorções ocorreram entre os painéis com 0% de bambu (100% eucalipto) e com 25% de bambu (75% eucalipto). Ao confrontar-se as Figuras 23 e 24, nota-se que os painéis com menor absorção foram os homogêneos de eucalipto e a combinação de 25% de bambu. Os valores encontrados para a AA2H em painéis de eucalipto (78,18%) foram superiores ao de Iwakiri et al. (2000) que observaram, em média, 45,83%.

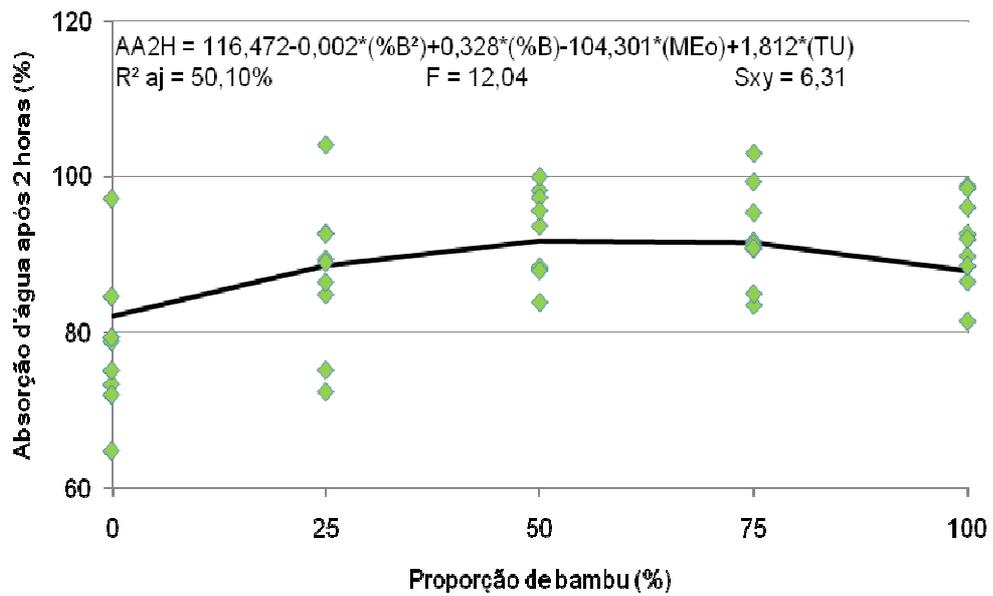


Figura 24 – Absorção d'água após 2 horas dos painéis fabricados com bambu e eucalipto para a MEo e o TU médios

Na Figura 25, observa-se que o tratamento 10 (25 %B, 25 %P e 50 %E) obteve os menores valores de AA2H. Tal comportamento está em conformidade com o observado nas Figuras 23 e 24, em que os painéis homogêneos de eucalipto apresentaram valores de absorção inferiores aos das demais espécies. Entretanto, o desempenho do tratamento 10 (90,11%) foi inferior aos homogêneos de eucalipto (78,18%) e pinus (88,60%).

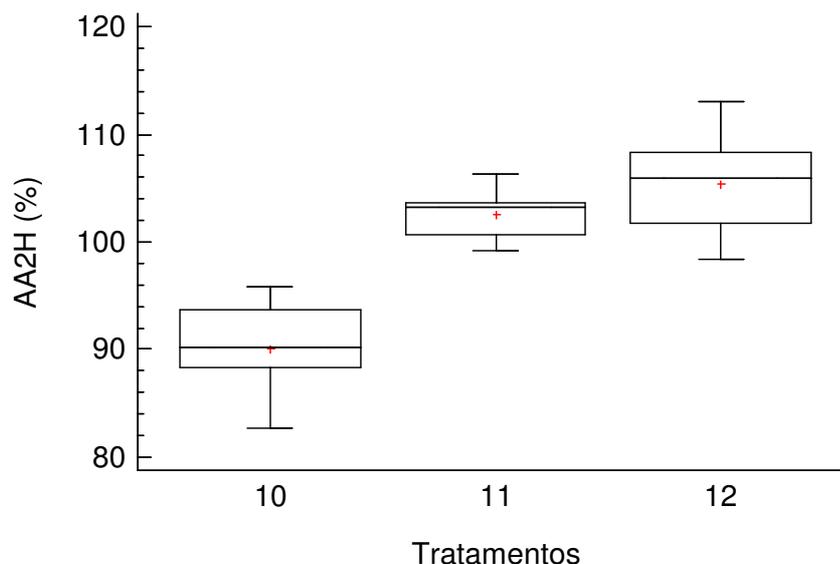


Figura 25 – Absorção água após 2 horas dos painéis confeccionados com misturas de bambu, pinus e eucalipto Onde: T10 = 25, 25, 50; T11 = 25, 50, 25; T12 = 50, 25, 25 para bambu, pinus e eucalipto, respectivamente

Na Figura 26 observa-se o modelo estimado para AA24H através das porcentagens de bambu e de pinus, evidenciando-se a tendência de uma parábola e os melhores painéis, assim como na AA2H, foram os homogêneos (100% de bambu e 0% de bambu). Com o aumento de bambu até a porcentagem de 50%, houve o acréscimo da AA24H e, a partir deste ponto, a AA24H decresce. Assim, os painéis homogêneos de pinus foram os que apresentaram melhores valores (100,60%). Iwakiri et al. (2010) encontraram valores inferiores de AA24H, entre 90,66% e 99,16%, para painéis de pinus.

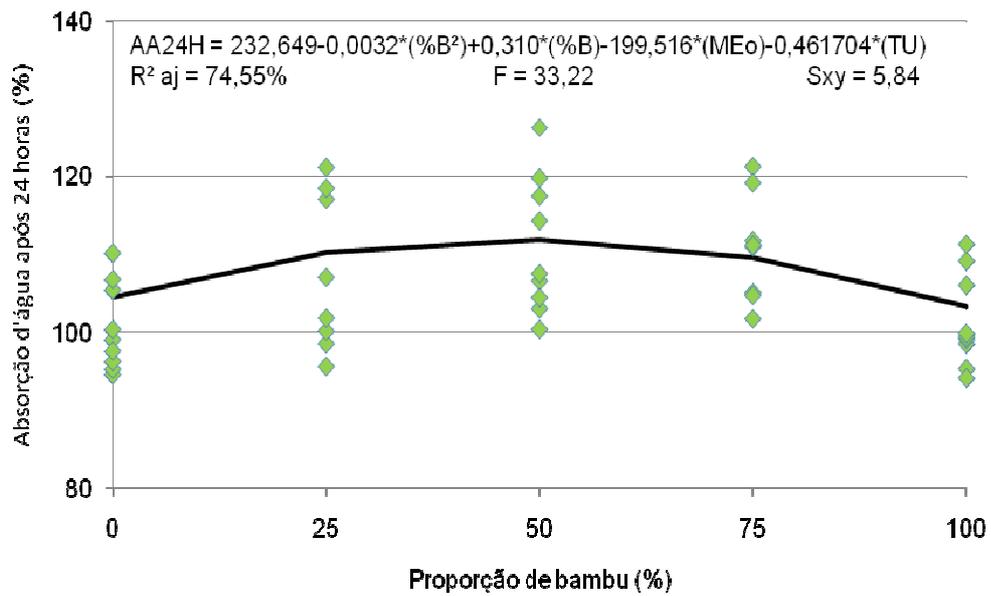


Figura 26 – Absorção água após 24 horas dos painéis formados por bambu e pinus para a MEo e o TU médios

Na Figura 27, observa-se o modelo estimado para AA24H através das porcentagens de bambu e de eucalipto, em pode ser observado que as piores combinações foram de 25%, 75% e 50% de 50% de bambu e eucalipto, respectivamente. Os melhores desempenhos foram dos painéis homogêneos de bambu (101,43%). No presente estudo, a média para os painéis de eucalipto foi de 104,81%. Iwakiri et al. (2000) encontraram valores inferiores presentes na faixa de 37,37% a 58,80% para painéis de *Eucalyptus* sp.

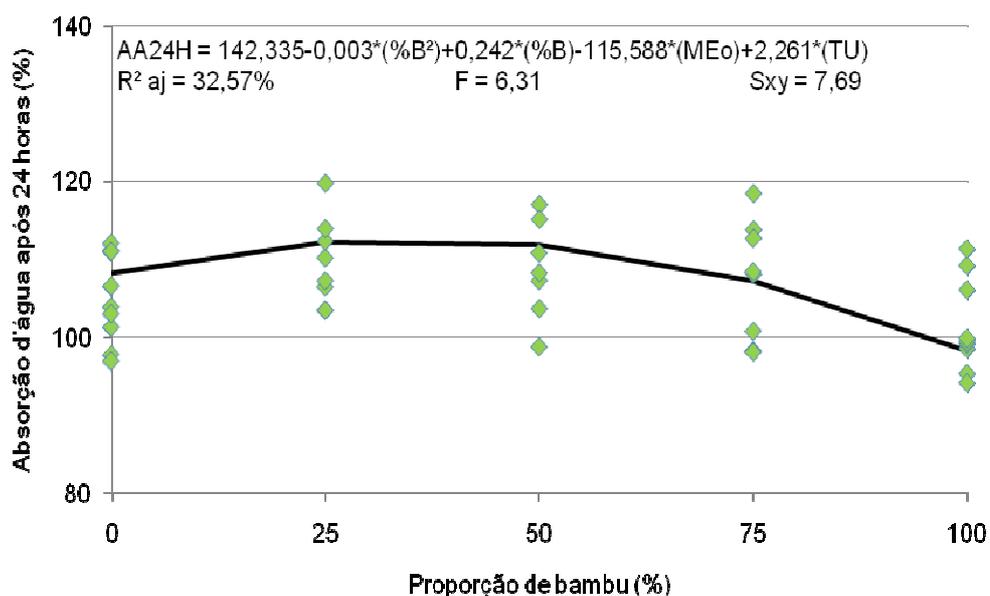


Figura 27 – Absorção água após 24 horas dos painéis formados por bambu e eucalipto para a MEo e o TU médios

A Figura 28 demonstra que os menores valores de AA_{24H} foram apresentados pelo tratamento 10, assim como observado na Figura 25, para AA_{2H}. Este comportamento foi distinto ao observado nas Figuras 26 e 27, onde os painéis homogêneos de pinus apresentaram valores inferiores aos das demais espécies. Comparando-se os resultados, observa-se que o desempenho do tratamento 10 (107,91%) foi inferior ao dos homogêneos de pinus (100,60%).

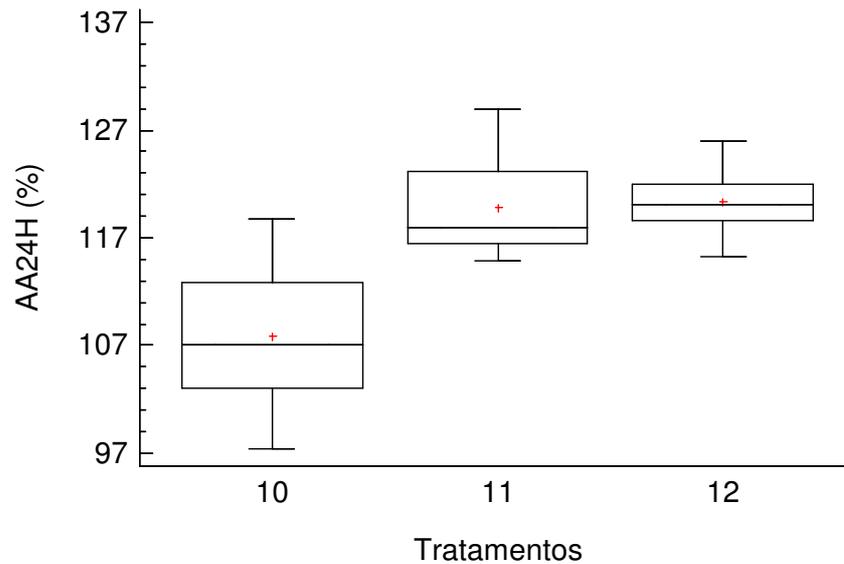


Figura 28 – Absorção água após 24 horas dos painéis confeccionados com misturas de bambu, pinus e eucalipto Onde: T10 = 25, 25, 50; T11 = 25, 50, 25; T12 = 50, 25, 25 para bambu, pinus e eucalipto, respectivamente

A massa específica observada influenciou de forma inversa a absorção de água após 2 (AA2H) e 24 horas (AA24H), com 0,63 e 0,62% de correlação, respectivamente. Nas Figuras 29 e 30 observa-se o modelo estimado para a AA2H e AA24H através da MEO; este comportamento da curva foi observado nos trabalhos de Hillig (2000), Dacosta (2004), Pedrazzi (2005) e Mello (2009).

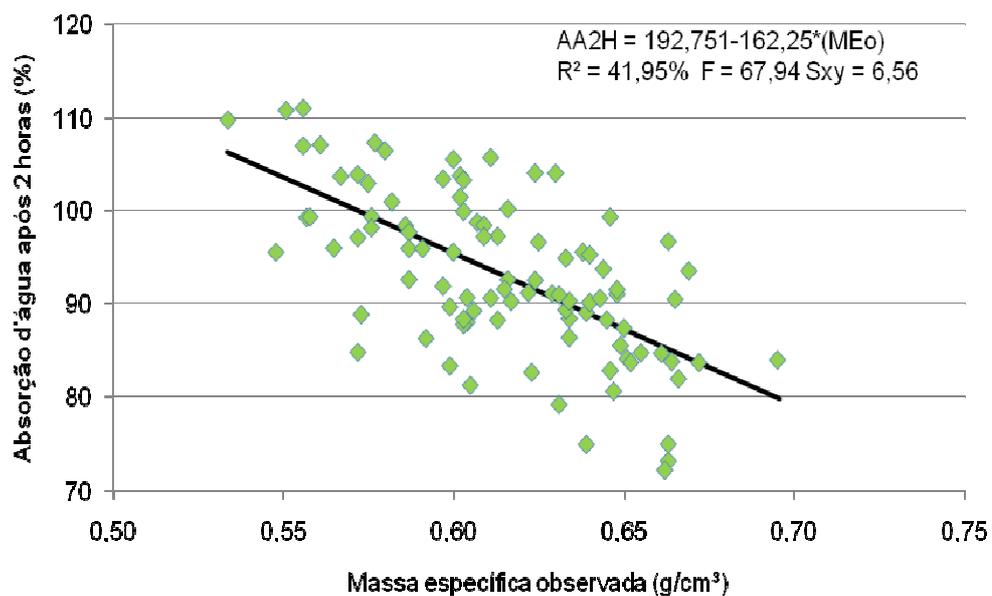


Figura 29 – Modelo estimado da absorção d'água após 2 horas através da massa específica observada nos painéis

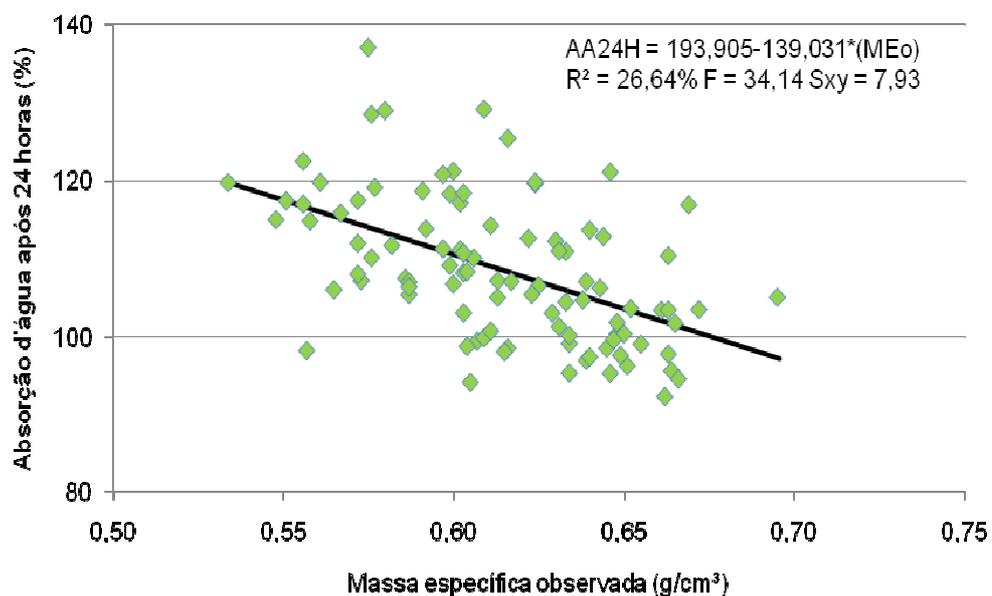


Figura 30 – Modelo estimado da absorção d'água após 24 horas através da massa específica observada nos painéis

O MOEDD apresentou correlação inversa com a AA2H e a AA24H (Tabela 8), explicando 29% e 35% dos dados respectivamente. Apesar da correlação, o MOEDD não poderá ser aplicado para a determinação da absorção de água devido ao baixo coeficiente de determinação da reta ajustada próximo a 9% e 13%, apesar do modelo ser significativo (Tabela 10). Miná et al. (2004) explicam que o ultrassom não deve ser utilizado para a estimativa das propriedades físicas, pois os ensaios não destrutivos são baseados nas propriedades mecânicas dos materiais.

Tabela 10 – Valor de F, Probabilidade e coeficiente de determinação para a estimativa da AA2H e AA24H através do MOEDD

Modelo	F	P	R²
AA2H = 121,105 - 0,0160206*(MOEDD)	10,40	0,0017**	8,93%
AA24H = 140,381 - 0,0179818*(MOEDD)	15,26	0,0002**	12,59%

F = F calculado; P = Probabilidade; R² = Coeficiente de determinação; MOEDD = Módulo de elasticidade dinâmico direto; ** = significativo a 1% de probabilidade de erro respectivamente pela análise de variância da regressão.

5.2.2 Inchamento em espessura

Na Tabela 11 observa-se a matriz de correlação entre as características físicas dos corpos de prova, os resultados do inchamento em espessura após 2 e 24 horas e dos ensaios não destrutivos.

As correlações significativas com o inchamento em espessura após 2 e 24 horas foram as proporções de pinus e eucalipto e a MEo, ambas significativas a 1% de probabilidade de erro.

Tabela 11 – Matriz de correlação simples de Pearson para inchamento em espessura dos painéis

	%B	%P	%E	MEo	TU	IE2H	IE24H	MOEDD	MOEDI
%B	1								
%P	-	1							
%E	-	-	1						
MEo	-0,12ns	0,08ns	0,02ns	1					
TU	0,60s	-0,42s	-0,12ns	-0,13ns	1				
IE2H	0,12ns	-0,47s	0,36s	0,30s	0,42s	1			
IE24H	0,05ns	-0,56s	0,51s	0,38s	0,32s	0,91s	1		
MOEDD	-0,26s	0,27s	-0,02ns	0,43s	-0,36s	-0,16ns	-0,07ns	1	
MOEDI	0,08ns	0,13ns	-0,21s	0,08ns	0,01ns	-0,11ns	-0,11ns	0,16ns	1

%B = Porcentagem de Bambu; %P = Porcentagem de Pinus; %E = Porcentagem Eucalipto; MEo = Massa Específica observada; TU = Teor de umidade de equilíbrio; IE2H e IE24H = Inchamento em espessura após 2 e 24 horas; MOEDD = Módulo de Elasticidade Dinâmico Direto; MOEDI = Módulo de Elasticidade Dinâmico Indireto; s e ns = significativo e não significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste de correlação de Pearson.

Os inchamentos em espessura após 2 e 24 horas (IE2H e IE24H) foram significativos, para o teste de correlação simples, com o pinus (47% e 56%) e o eucalipto (36% e 51%), respectivamente. De acordo com a Tabela 11, o IE2H e IE24H apresentaram correlações inversas para o pinus e diretas para o eucalipto. As mesmas tendências foram observadas em painéis, para cada espécie, por Carvalho et al. (2009) e Nascimento et al. (2007), respectivamente.

A Figura 31 representa o modelo estimado entre o IE2H e as porcentagens de bambu e de pinus, em que se observa que a pior combinação foi a de 50% de bambu e 50% de pinus. Já os melhores desempenhos foram dos painéis homogêneos de pinus (19,03%) e bambu (24,12%).

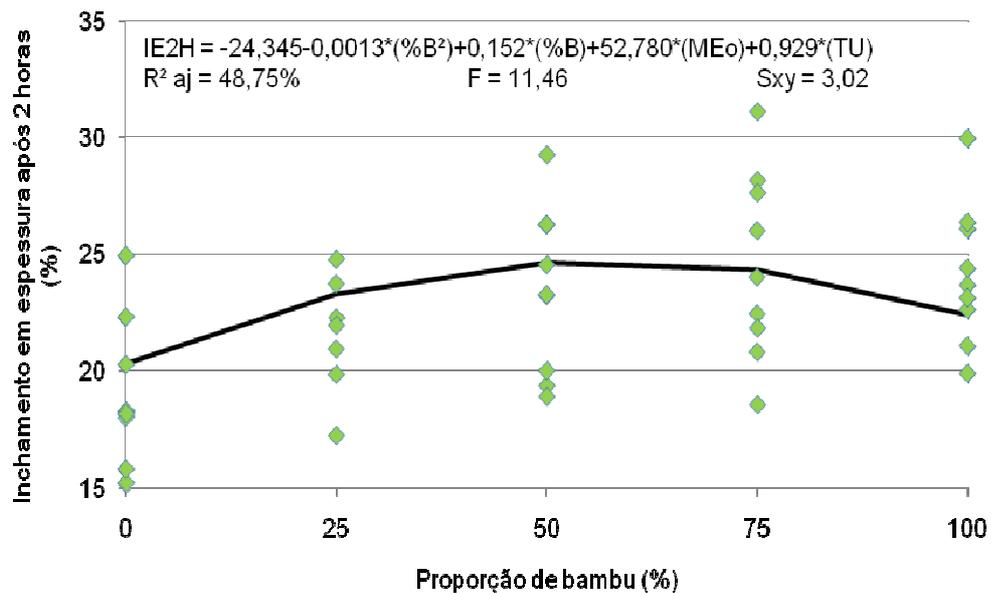


Figura 31 – Inchamento em espessura após 2 horas dos painéis formados por bambu e pinus para a MEo e o TU médios

A Figura 32 evidencia o modelo estimado entre o IE2H e as porcentagens de bambu e eucalipto, onde se nota que a pior combinação foi a de 25% de bambu e 75% eucalipto. Já os melhores desempenhos foram dos painéis homogêneos de bambu (24,12%) e eucalipto (26,35%). Apesar disto, Iwakiri et al. (2000) encontraram a faixa de 16,76% a 30,60% para o IE2H, em chapas de *Eucalyptus* spp. com 8% de ureia-formaldeído, sem adição da emulsão de parafina, massa específica 0,75 g/cm³ e prensagem durante 8 min. Corroborando com os resultados obtidos no presente estudo, Maciel (2001) observou que os painéis elaborados com madeira de eucalipto são mais sensíveis ao inchamento em espessura do que os produzidos com madeira de pinus.

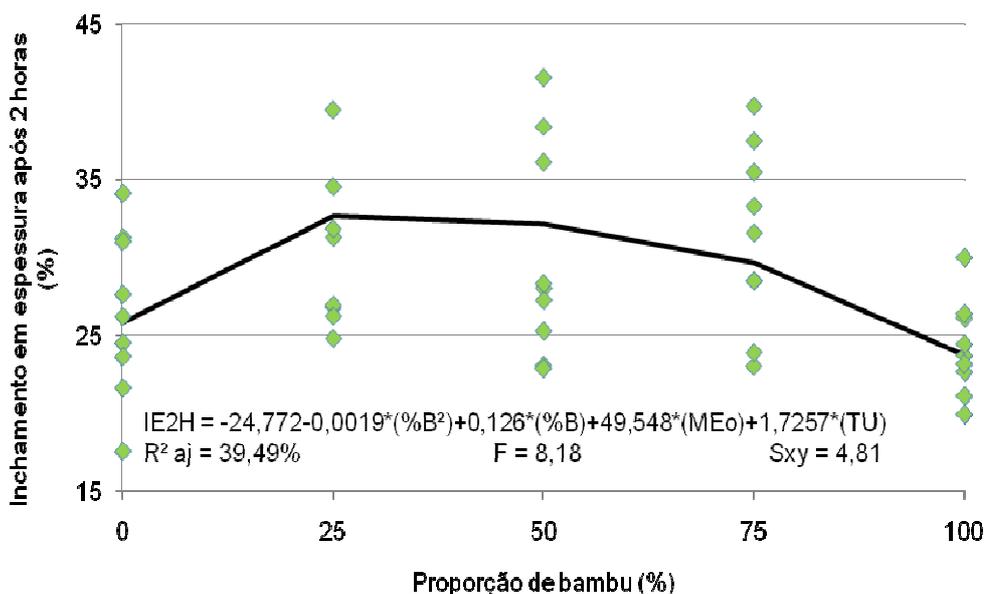


Figura 32 – Inchamento em espessura após 2 horas dos painéis formados por bambu e eucalipto para a MEo e o TU médios

Na Figura 33 observa-se que o tratamento 10 (25 %B, 25 %P e 50 %E) obteve os menores valores de IE2H. Este comportamento foi distinto do observado nas Figuras 31 e 32, onde os painéis homogêneos de pinus apresentaram valores de inchamento inferiores aos das demais espécies. Isto pode ser consequência da proximidade entre as médias dos tratamentos 10 (26,81%) e 11(27,16%). Entretanto, o desempenho do tratamento 10 (26,81%) foi inferior aos homogêneos de pinus (19,03%).

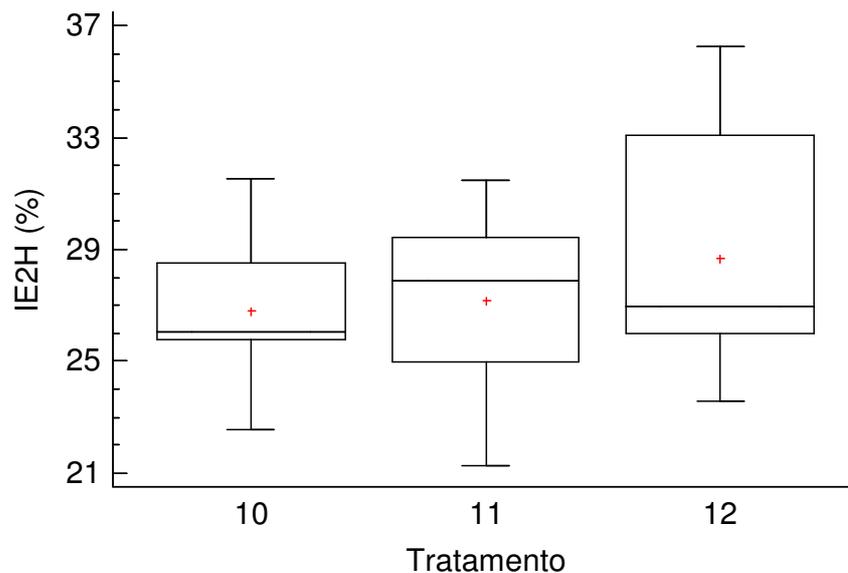


Figura 33 – Inchamento em espessura após 2 horas dos painéis confeccionados com misturas de bambu, pinus e eucalipto Onde: T10 = 25, 25, 50; T11 = 25, 50, 25; T12 = 50, 25, 25 para bambu, pinus e eucalipto, respectivamente

Na Figura 34 observa-se o modelo estimado para IE24H através das porcentagens de bambu e de pinus, em que se observa que, com o aumento na proporção de bambu, aumenta o inchamento em espessura após 24 horas, exceto para os painéis homogêneos de bambu. Dessa forma, os painéis homogêneos de pinus foram os que apresentaram melhores valores. O valor médio de IE24H obtido para os painéis de pinus foi de 23,62%, sendo inferior ao encontrado no estudo de Iwakiri et al. (2010), onde o valor médio foi de 26,93%, em chapas de *Pinus taeda* com 8% de ureia-formaldeído, sem adição da emulsão de parafina, massa específica 0,75 g/cm³ e prensagem durante 8 minutos.

A norma DIN 68761 estabelece que o inchamento em espessura após 24 horas seja de no máximo 15% (GERMAN STANDARDS COMMITTEE, 1961); constata-se, dessa forma, que todos os tratamentos constituídos por bambu e pinus estão com valores superiores ao estabelecido. No entanto, a norma ANSI 208.1 (1987) considera aceitável o percentual de até 35% de IE24H, atingido por todos os painéis confeccionados com bambu e pinus.

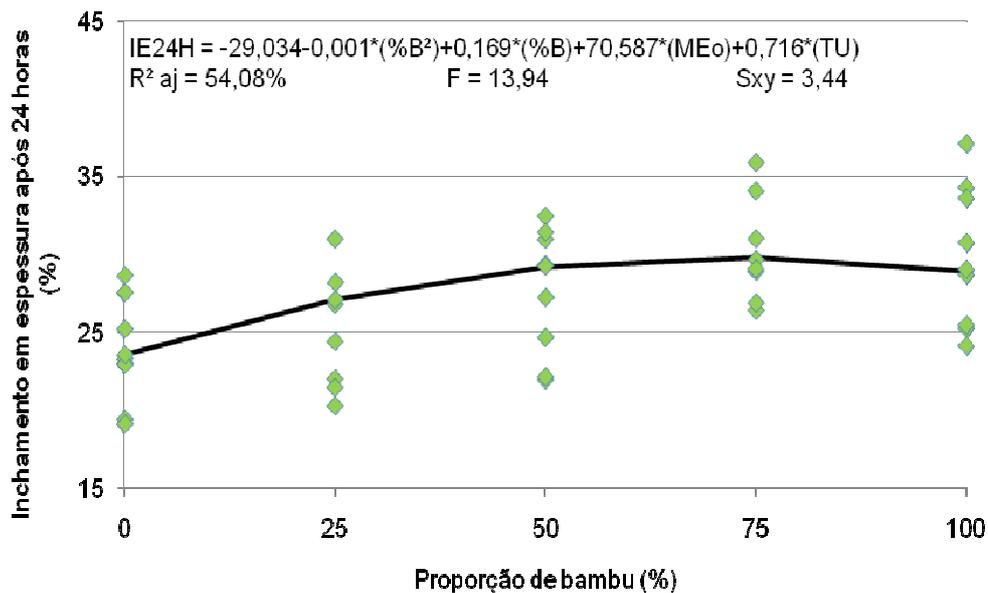


Figura 34 – Inchamento em espessura após 24 horas dos painéis formados por bambu e pinus para a MEo e o TU médios

Na Figura 35 observa-se o modelo estimado para IE24H através das porcentagens de bambu e eucalipto, mostrando que as piores combinações foram de 25%, 75% e 50% de 50% de bambu e eucalipto, respectivamente. Já os melhores desempenhos foram dos painéis homogêneos de bambu (29,78%) e eucalipto (36,06%), assim como os painéis de bambu e pinus, os painéis com as combinações de bambu e eucalipto não satisfizeram a norma DIN 68761. Porém, com a norma ANSI 208.1 (1987) apenas os painéis homogêneos de bambu ficaram abaixo do valor estabelecido pela norma (35%). Em seu estudo Iwakiri et al. (2000) encontraram o IE24H variando de 30,10 a 38,81%, em chapas de *Eucalyptus* spp. com 8% de resina ureia-formaldeído (UF), emulsão de parafina, densidade 0,75 g/cm³ e prensagem durante 8 minutos. No presente estudo, a faixa para a composição de bambu e eucalipto foi de 36,03 a 40,74%.

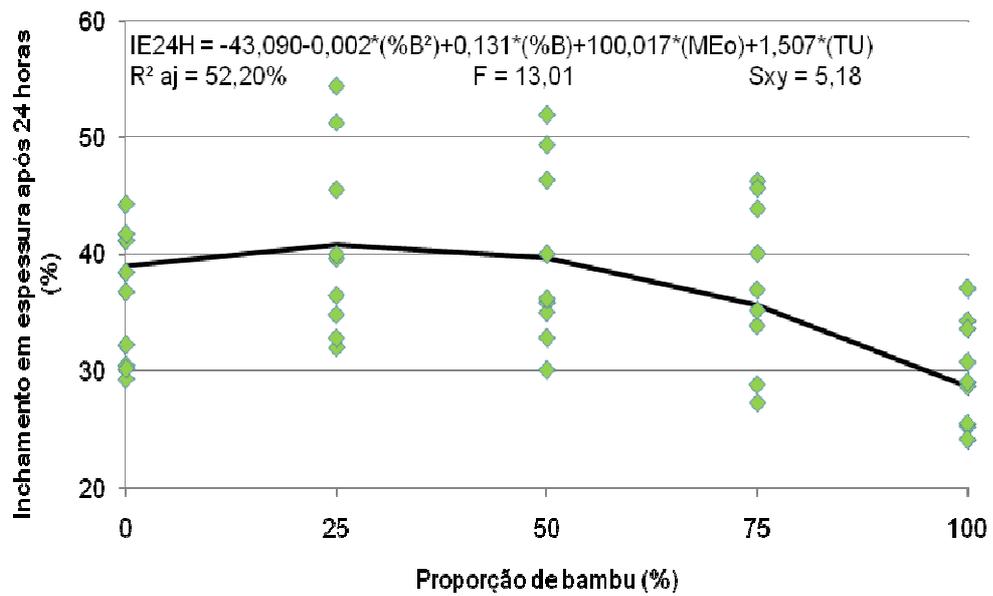


Figura 35 – Inchamento em espessura após 24 horas dos painéis formados por bambu e eucalipto para a MEo e o TU médios

A Figura 36 demonstra que os menores valores de IE24H foram apresentados pelos tratamentos 10 (33,66%) e 11 (33,70%), em consonância com o observado na Figura 33 para IE2H. Porém, este comportamento foi distinto do observado nas Figuras 34 e 35, onde os painéis homogêneos de pinus apresentaram valores inferiores aos das demais espécies. Na comparação, o desempenho do tratamento 10 (33,66%) foi inferior aos dos homogêneos de pinus (23,62%).

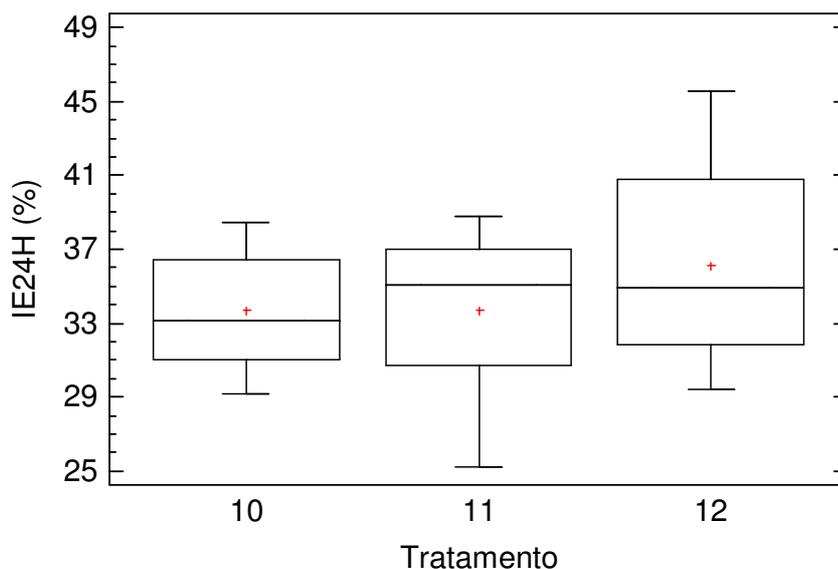


Figura 36 – Inchamento em espessura após 24 horas dos painéis confeccionados com misturas de bambu, pinus e eucalipto Onde: T10 = 25, 25, 50; T11 = 25, 50, 25; T12 = 50, 25, 25 para bambu, pinus e eucalipto, respectivamente

Em chapas aglomeradas de *Bambusa vulgaris* produzidas com 10% de UF e emulsão de parafina, Calegari et al. (2007) encontraram valores de AA2H e 24H de 14,24% e 65,58%, respectivamente, e IE2H e 24H de 3,78% e 17,93%. Nestas condições, os painéis de *Bambusa vulgaris* apresentaram menor absorção de água e maior estabilidade dimensional que os painéis de *Bambusa tuldoides* (AA2H = 91,47% e AA24H = 101,43% IE2H = 24,12% e IE24H = 29,78%). Estes valores foram superiores aos encontrados por Almeida et al. (2008) que obtiveram 8,96% e 17,28% de IE2H e 24H, respectivamente e AA2H e 24H igual a 21,10% e 45,52% para *Dendrocalamus giganteus*, provavelmente utilizando parafina com o adesivo.

Del Menezzi (1996) observou, em seu estudo com painéis aglomerados da mistura de *Pinus oocarpa* e *Eucalyptus urophylla* comparado com painéis comerciais, que o menor inchamento na espessura pode ser explicado pelo acréscimo de 0,5% de parafina na fabricação. O autor acrescenta que a parafina confere aos painéis aglomerados menor absorção de água e, conseqüentemente, menor inchamento em espessura, possibilitando, assim, que os painéis estejam de acordo com as normas.

Ao comparar-se o efeito da MEo na absorção de água e o inchamento em espessura, notam-se comportamentos distintos, visto que a densidade do painel

causou um decréscimo na absorção de água e há um aumento do inchamento em espessura com o aumento da MEo (Figuras 37 e 38). O mesmo comportamento foi observado por Saldanha (2004) e Melo e Del Menezzi (2010). Suchsland (1973) afirma que a explicação, em parte, dá-se pela liberação das tensões geradas durante a prensagem dos painéis, à medida que a absorção de água acelera este processo.

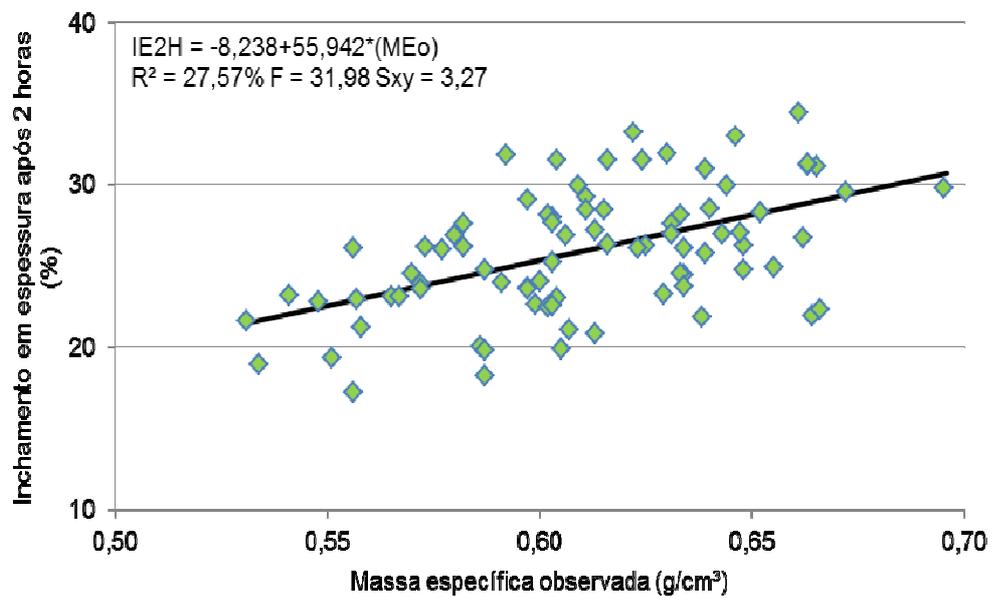


Figura 37 – Modelo estimado do inchamento em espessura após 2 horas através da massa específica observada nos painéis

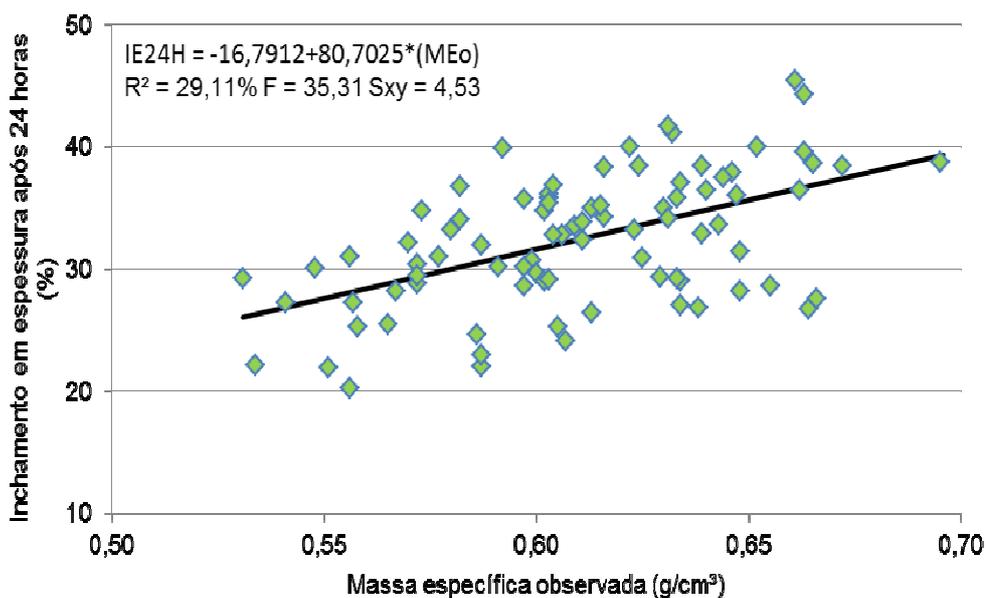


Figura 38 – Modelo estimado do inchamento em espessura após 24 horas através da massa específica observada nos painéis

5.3 Ensaio mecânicos

Na Tabela 12 observam-se os valores médios para cada tratamento resultante dos ensaios mecânicos.

Tabela 12 – Tratamentos, proporções das partículas, valores do módulo de ruptura e de elasticidade (MOR e MOEE) em flexão estática, arrancamento de parafuso (AP) e ligação interna (LI)

(continua)

Tratamento	Partículas			MOR (MPa)	MOEE (MPa)	AP (kgf)	LI (MPa)
	Bambu	Pinus	Eucalipto				
T1	100	0	0	5,48	747,92	52,25	0,20
T2	75	25	0	7,58	1.045,30	55,92	0,15
T3	50	50	0	7,09	926,30	60,25	0,27
T4	25	75	0	8,14	1.037,56	70,50	0,40

(conclusão)

Tratamento	Partículas			MOR (MPa)	MOEE (MPa)	AP (kgf)	LI (MPa)
	Bambu	Pinus	Eucalipto				
T5	0	100	0	10,70	1.321,84	84,42	0,50
T6	0	0	100	7,63	1.161,63	64,83	0,25
T7	25	0	75	6,84	932,19	63,20	0,22
T8	50	0	50	6,74	895,56	58,90	0,19
T9	75	0	25	5,57	643,35	57,10	0,15
T10	25	25	50	7,73	960,48	64,25	0,24
T11	25	50	25	6,77	889,50	62,42	0,20
T12	50	25	25	5,69	752,21	56,67	0,19

5.3.1 Flexão estática

Na Tabela 13, verifica-se a matriz de correlação entre as características físicas dos corpos de prova, os resultados dos ensaios de flexão estática e os não destrutivos.

As correlações significativas de MOR e MOEE foram com as proporções de bambu e de pinus, MEo, o módulo de elasticidade dinâmico direto e o módulo de elasticidade dinâmico indireto ambas significativas a 1% de probabilidade de erro.

Os módulos de ruptura e de elasticidade estático (MOR e MOEE) foram significativos, para o teste de correlação simples, com o bambu (50% e 40%) e pinus (53% e 28%), respectivamente. De acordo com a Tabela 13, o MOR e MOEE apresentaram correlações inversas para a proporção de partículas de bambu e diretas para partículas da madeira de pinus, ou seja, com o incremento de bambu nos painéis diminui o MOR e o MOEE, já com o pinus ocorre o inverso.

Tabela 13 – Matriz de correlação simples de Pearson para as propriedades de Flexão estática

	%B	%P	%E	MEo	MOR	MOEE	MOEDD	MOEDI
%B	1							
%P	-	1						
%E	-	-	1					
MEo	0,12ns	-0,06ns	-0,05ns	1				
MOR	-0,50s	0,53s	-0,07ns	0,33s	1			
MOEE	-0,40s	0,28s	0,09ns	0,36s	0,78s	1		
MOEDD	-0,24s	0,27s	-0,04ns	0,66s	0,61s	0,56s	1	
MOEDI	0,09ns	0,13ns	-0,21s	0,16ns	0,21s	0,09ns	0,13ns	1

%B = Porcentagem de Bambu; %P = Porcentagem de Pinus; %E = Porcentagem Eucalipto; MEo = Massa Específica observada; MOR = Módulo de Ruptura; MOEE = Módulo de Elasticidade Estático; MOEDD = Módulo de Elasticidade Dinâmico Direto; MOEDI = Módulo de Elasticidade Dinâmico Indireto; s e ns = significativo e não significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste de correlação de Pearson.

Na Figura 39, nota-se o modelo estimado entre o MOR e as porcentagens de bambu e pinus, em que se verifica que o pior desempenho foi observado para os painéis homogêneos de bambu. Entretanto, os melhores valores foram observados para os painéis homogêneos de pinus (10,70 MPa), porém os valores observados foram inferiores à norma americana de comercialização ANSI A 208.1 para painéis de média massa específica (0,60 a 0,85 g/cm³) do tipo 1, que admite como valor mínimo requerido 10,98 MPa para o MOR.

Em seu estudo, Iwakiri et al. (2010) encontraram valores superiores para o MOR (12,03 MPa) ao do presente estudo (10,70 MPa), em painéis de *Pinus taeda* com 8% de ureia-formaldeído, sem adição da emulsão de parafina, massa específica 0,75 g/cm³ e prensagem durante 8 minutos. Esta diferença pode ser explicada devido à maior massa específica dos painéis, pois Saldanha e Iwakiri (2009) relatam que a massa específica exerce influencia direta no MOR. Porém, Dacosta (2005) encontraram valores menores para o MOR, através da confecção de painéis com dois tipos de resíduos de *Pinus elliottii* (cavaco e maravalha), utilizados puros ou misturados, resultantes do processamento mecânico da madeira, com 8% de resina, e obtiveram para o MOR dos cavacos de 6,44 a 8,17 MPa, maravalha de 9,02 a 9,41 MPa e a mistura de 50% de cada resíduo 7,50 a 8,03 MPa, onde as cascas podem ter diminuído os valores dos painéis com cavacos.

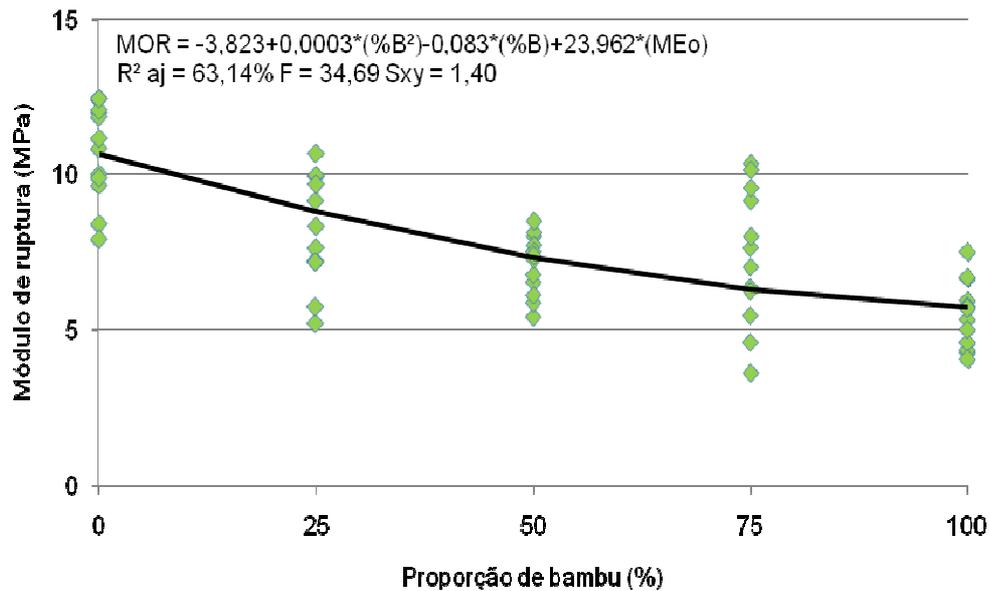


Figura 39 – Módulo de ruptura dos painéis formados por bambu e pinus para a MEo média

Na Figura 40, observa-se o modelo estimado entre o MOR e a porcentagem de bambu e eucalipto, constatando-se que o pior desempenho foi obtido pelos painéis homogêneos de bambu, assim como na combinação de bambu e pinus. Os melhores valores foram encontrados para os painéis homogêneos de eucalipto (7,63 MPa), valor inferior aos painéis homogêneos de pinus. Conseqüentemente, os painéis de eucalipto não satisfizeram a norma americana de comercialização ANSI A 208.1 para painéis de média densidade do tipo 1.

Iwakiri et al. (2000) encontraram valores para o MOR variando de 7,4 a 13,4 MPa, em painéis de *Eucalyptus spp.* com 8% de resina UF, emulsão de parafina, massa específica $0,75 \text{ g/cm}^3$ e prensagem durante 8 minutos; no presente estudo a faixa para a composição de bambu e eucalipto foi de 5,48 a 7,63 MPa. Pedrazzi et al. (2006), em painéis aglomerados de palitos e serragem da espécie *Eucalyptus saligna*, com massa específica de $0,65 \text{ g/cm}^3$, 8% de UF e prensagem durante 8 minutos, encontraram MOR variando entre 8,4 a 6,2 MPa, respectivamente para palitos e serragem, valores distintos aos do presente estudo.

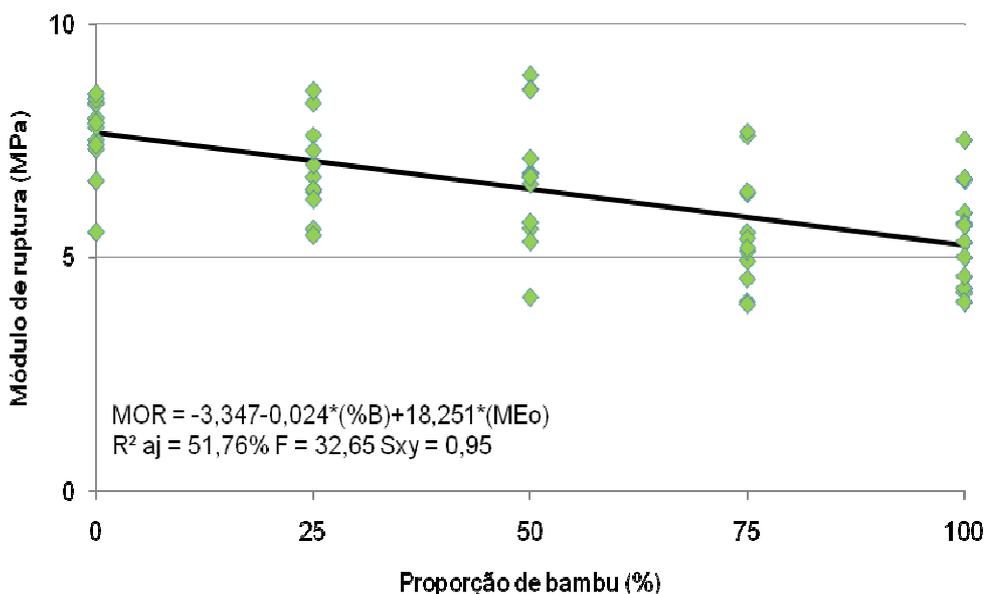


Figura 40 – Módulo de ruptura dos painéis formados bambu e eucalipto para a MEo média

Na Figura 41 nota-se que a melhor combinação, utilizando 3 espécies, foi a formada por 25% de bambu, 25% de pinus e 50% de eucalipto (T10). Este resultado é contraditório ao observado na comparação entre as Figuras 39 e 40, nas quais são observados valores superiores para o MOR em painéis com predominância de partículas de pinus. Provavelmente, os fatores de produção tiveram influência neste resultado, destacando-se o tempo para mistura da massa de partículas no tambor giratório e a homogeneização da massa no molde para a formação do painel. Na comparação, o desempenho do tratamento 10 (7,73 MPa) foi inferior aos homogêneos de pinus (10,70 MPa).

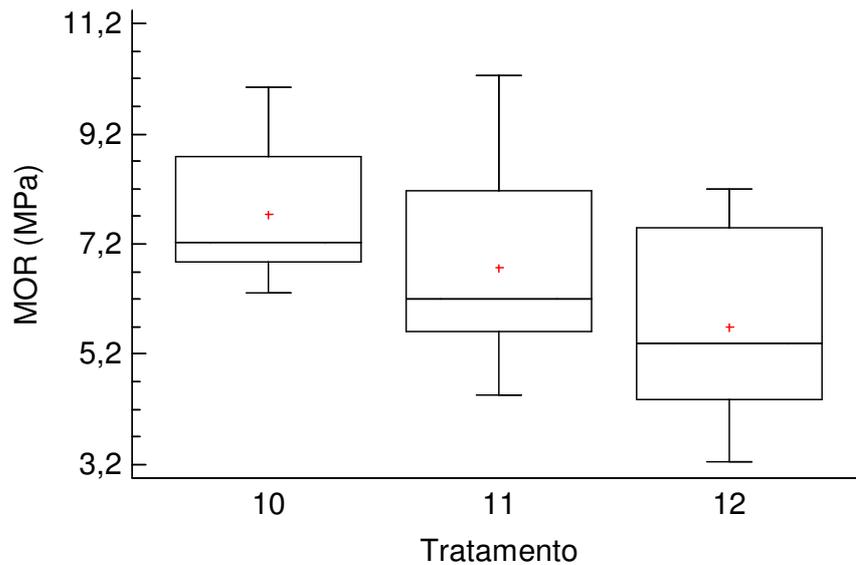


Figura 41 – Módulo de ruptura dos painéis confeccionados com misturas de bambu, pinus e eucalipto Onde: T10 = 25, 25, 50; T11 = 25, 50, 25; T12 = 50, 25, 25 para bambu, pinus e eucalipto, respectivamente

O modelo estimado para o MOEE através das proporções de bambu e pinus foi representado na Figura 42, verificando-se que com o acréscimo de bambu nos painéis, menor é o MOEE, sendo assim os painéis homogêneos de pinus foram os que obtiveram melhor desempenho com 1.321,84 MPa. Entretanto, os valores obtidos pelos painéis de pinus foram inferiores à norma americana de comercialização, pois a ANSI A 208.1 exige 1.725,97 MPa para o MOEE em painéis de média massa específica do tipo 1.

Iwakiri et al. (2010), no trabalho anteriormente citado, utilizando painéis de *Pinus taeda* com massa específica 0,75 g/cm³, encontraram em média 1.886,61 MPa, valor superior ao do presente estudo, porém, deve-se considerar a provável influência da massa específica. Dacosta et al. (2005), utilizando painéis com dois tipos de resíduos de *Pinus elliottii* (cavaco e maravalha), obtiveram resultados inferiores para o módulo de elasticidade de 650 a 656 MPa (cavacos), 700 a 756 MPa (mistura 50% de cada resíduo) e 1050 a 1159 MPa (maravalha). Os autores ressaltam que as cascas presentes nos cavacos podem ter influenciado negativamente as propriedades mecânicas dos painéis.

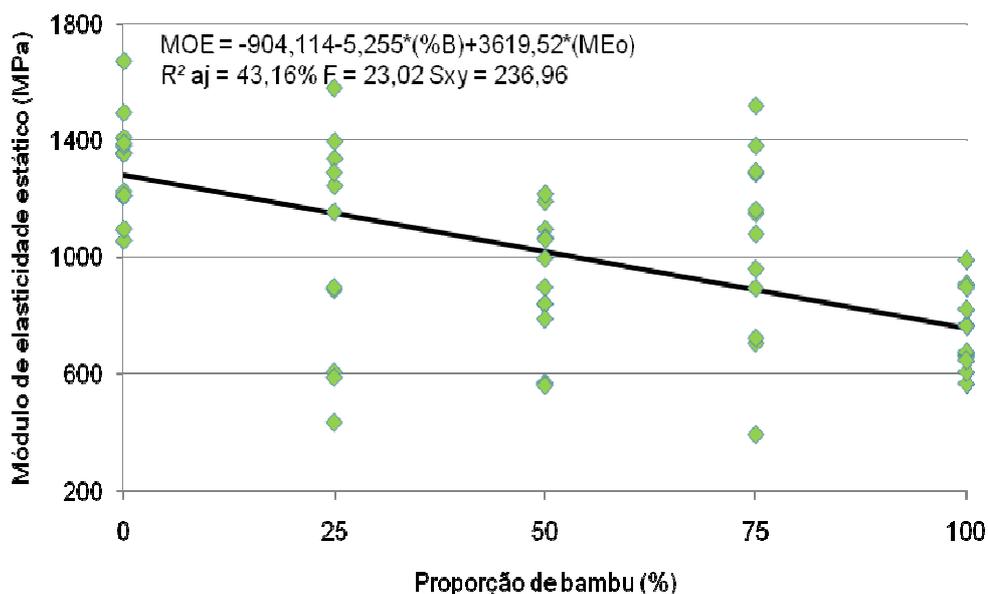


Figura 42 – Módulo de elasticidade estático dos painéis formados por bambu e pinus para a MEO média

Na Figura 43 observa-se o modelo estimado entre o MOEE e a porcentagem de bambu e eucalipto, em que se verifica que o pior desempenho foi obtido pelos painéis homogêneos de bambu, assim como na combinação de bambu e pinus. Os melhores valores foram encontrados para os painéis homogêneos de eucalipto (1.161,63 MPa), valor inferior aos painéis homogêneos de pinus que, portanto, não satisfaz a norma ANSI A 208.1 (1.725,97 MPa) para painéis de média massa específica do tipo 1.

Para o MOEE, Iwakiri et al. (2000), no trabalho anteriormente citado, utilizando painéis de *Eucalyptus* spp. com massa específica 0,75 g/cm³, observaram valores variando de 1.217,89 a 2.305,56 MPa, sendo que no presente trabalho a faixa foi inferior, apresentando de 960,64 a 1.489,57 MPa. Pedrazzi et al. (2006), em painéis aglomerados de palitos e serragem da madeira de *Eucalyptus saligna*, com massa específica de 0,65 g/cm³, encontraram o MOEE variando de 1.015,4 a 1.058,4 MPa, respectivamente para palitos e serragem, valores inferiores aos do presente estudo.

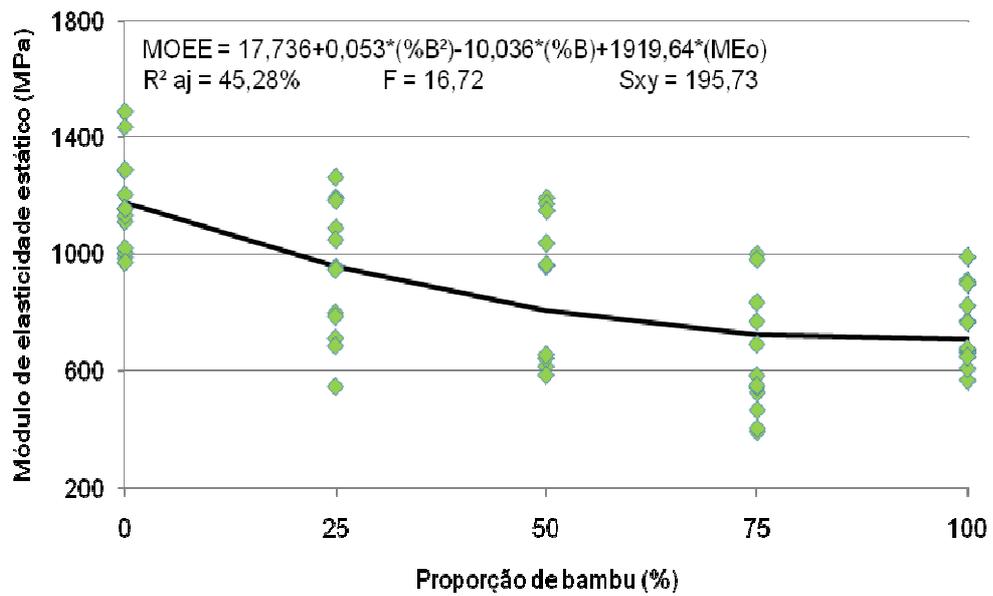


Figura 43 – Módulo de elasticidade estático dos painéis formados por bambu e eucalipto para a MEo média

A Figura 44 mostra que os maiores valores do MOEE foram apresentados pelos tratamentos 10 (960,48 MPa) e 11 (889,50 MPa). Este comportamento foi distinto do observado nas Figuras 42 e 43, em que os painéis homogêneos de pinus apresentaram valores superiores aos das demais espécies. Em comparação, o desempenho do tratamento 10 (960,48 MPa) foi inferior aos de homogêneos de pinus (1.321,84 MPa).

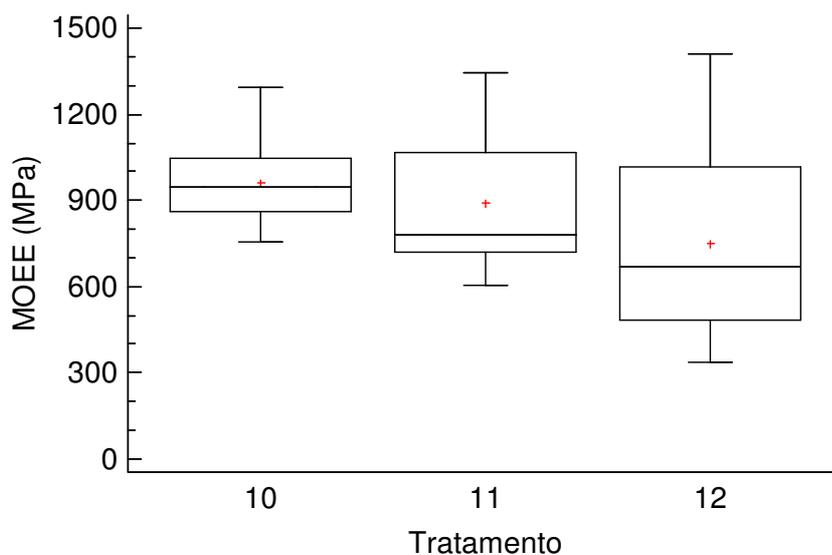


Figura 44 – Módulo de elasticidade estático dos painéis confeccionados com misturas de bambu, pinus e eucalipto Onde: T10 = 25, 25, 50; T11 = 25, 50, 25; T12 = 50, 25, 25 para bambu, pinus e eucalipto, respectivamente

O MOR e o MOEE obtiveram a maior correlação da Tabela 13 (78%), constatando-se que à medida que o MOR aumenta, o MOE aumenta em proporção semelhante. Haselein (1989), Hillig (2000), Pedrazzi (2005) e Melo (2010) observaram a mesma tendência, porém as correlações foram distintas ao do presente estudo (78%) 69, 88, 82 e 92%, respectivamente para cada autor citado. A Figura 45 apresenta o modelo estimado entre o MOR e o MOEE. Segundo Kelly (1977), a relação entre tais variáveis geralmente segue esse padrão e se deve à influência que diversas variáveis de processamento exercem de forma similar tanto no MOEE como no MOR.

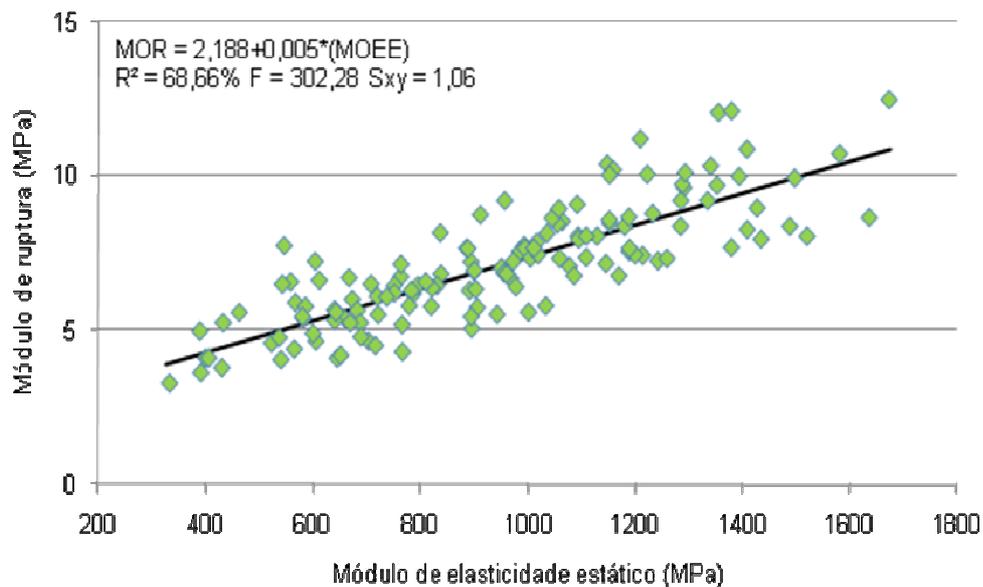


Figura 45 – Modelo estimado do módulo de ruptura através do módulo de elasticidade estático

Para o MOR em painéis de *Bambusa vulgaris* com massa específica de 0,60 e 0,80 g/cm³ e 8% de ureia-formaldeído com base na massa seca das partículas, Moreno et al. (2007), observaram respectivamente 12,02 e 27,02 MPa valores superiores ao presente estudo (5,48 MPa). Apesar das espécies serem distintas, nota-se que com o aumento da massa específica agrega-se melhores características mecânicas aos painéis. Entretanto, Zhou (1990) verificou que em painéis de maior massa específica a resistência mecânica aumenta e estabilidade dimensional diminui, entretanto, o autor não utilizou parafina.

Hiziroglu et al. (2005), em painéis de partículas de *Dendrocalamus asper* produzidos com 8% de ureia-formaldeído e massa específica de 0,75 g/cm³, observaram 22,57 MPa para o MOR e 2.424 MPa para o MOE. No entanto, Vital e Haselein (1988), em painéis de *Bambusa vulgaris* com 7 e 9% de ureia-formaldeído, obtiveram valores distintos, sendo 10,3 e 12,16 MPa para o MOR e 1.376,66 e 2.592,58 MPa para o MOEE, enquanto no presente estudo o valor de MOEE foi inferior ao citado (747,92 MPa).

No mesmo trabalho, Vital e Haselein (1988) observaram que com o aumento do teor de adesivo as propriedades mecânicas foram superiores. José et al. (2006) recomendam 10% de teor de adesivo para painéis de *Bambusa vulgaris*, entretanto

Valarelli et al. (2010), em painéis homogêneos de *Dendrocalamus giganteus* com 6, 8, 10 e 12% de adesivo observaram, respectivamente, 5,27, 6,21, 8,38 e 8,55 MPa para o MOR e 1124, 1256, 1621 e 1682 para o MOE. Os mesmos autores ressaltam que, mesmo com o aumento do teor de adesivo, os painéis não satisfizeram a norma americana de comercialização (ANSI A 208.1).

Jayne, em 1959, propôs a hipótese fundamental para o uso do ultrassom em madeiras. O autor afirma que as propriedades anatômicas e químicas da madeira, que servem para armazenar e dissipar a energia do ultrassom são controladas pelos mesmos mecanismos que determinam o seu comportamento mecânico em condições estáticas. Desse modo, ao comparar-se o comportamento do Módulo de elasticidade dinâmico direto (MOEDD) com o módulo de ruptura (MOR) e com o módulo de elasticidade estático (MOEE), nota-se comportamentos similares, uma vez que o aumento do MOR e MOEE aumenta o MOEDD (Figura 46 e 47).

Jayne (1959); Pellerin (1965); Kaiserlik e Pellerin (1977); Ross e Pellerin (1988); Sandoz (2000) e Stangerlin et al. (2010) observaram, experimentalmente, nos respectivos estudos, relações entre os ensaios não destrutivos e os mecânicos. Porém, Lapo e Beraldo (2008) não encontraram relações entre o MOEDD e o MOR utilizando o método de propagação direto entre as faces do painel, e recomendam o uso da propagação da onda ultrassônica ao longo da espessura do painel, varrendo-se uma grande quantidade de pontos. Todavia, no presente estudo foi observada a correlação entre o MOEDD e o MOR, não sendo necessária a amostragem em vários pontos dos corpos de prova ao utilizar-se o método de propagação ao longo da espessura dos corpos de prova.

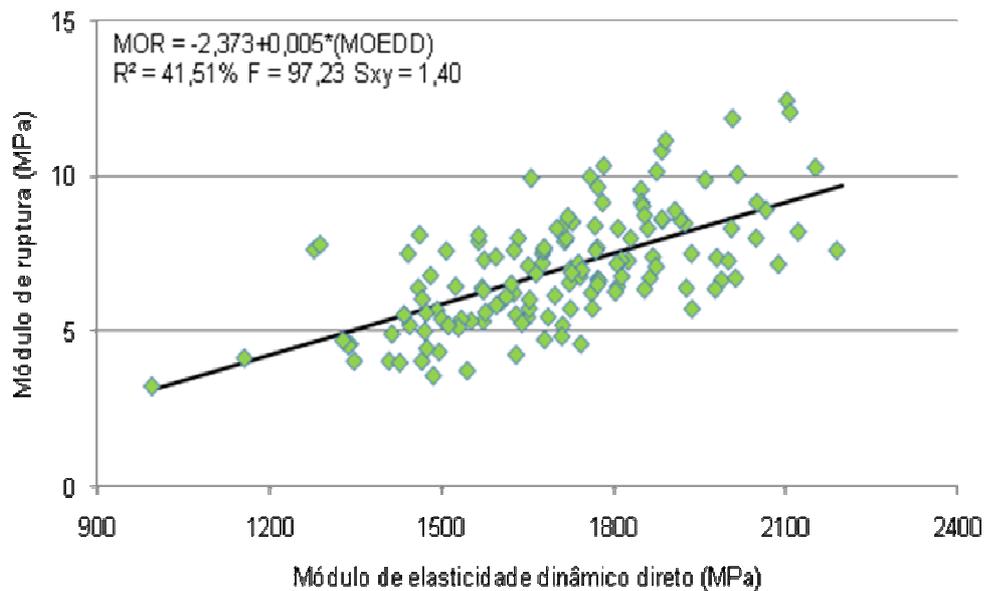


Figura 46 – Modelo estimado do módulo de ruptura através do módulo de elasticidade dinâmico direto

De acordo com a Tabela 13 e as Figuras 46 e 47, o MOR apresentou melhor correlação com o MOEDD, fato não observado por Halabe et al. (1995), ao correlacionar os módulos de elasticidade e de ruptura (ensaios mecânicos) com as constantes elásticas dinâmicas obtidas mediante ensaios de propagação de ondas ultrassônicas em madeira verde de diferentes espécies. Conforme Oliveira et al. (2003) e Miná et al. (2004), este comportamento se deve ao fato de que as medições dinâmicas são baseadas nas propriedades mecânicas apenas no limite elástico. O módulo de ruptura acontece em maior tensão e depois do limite elástico, resultando, conseqüentemente, em predições menos eficazes por meio dos ensaios não destrutivos.

Em painéis aglomerados não foram encontrados estudos que estimem o MOR através do MOEDD, entretanto, Ferraz et al. (2009) observaram em painéis LSL que a melhor correlação foi entre o MOR e o MOEDD, comportamento similar ao presente estudo. Os painéis LSL são formados por partículas de madeira com espessura variando de 0,6 a 1,3 mm, com comprimento de 300 mm e larguras variáveis, o que diferencia os painéis aglomerados dos LSL é a orientação paralela das partículas.

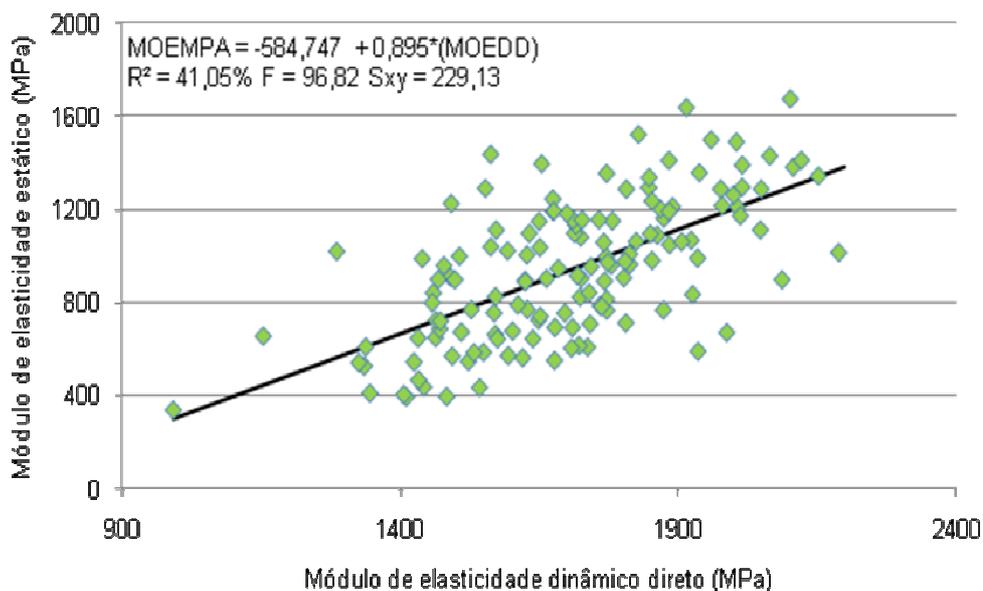


Figura 47 – Modelo estimado do módulo de elasticidade estático através do módulo de elasticidade dinâmico direto

O módulo de elasticidade dinâmico direto (MOEDD) obtido pelo método ultrassonoroso foi superior ao módulo de elasticidade estático (MOEE) verificado pelo ensaio destrutivo. Este resultado está de acordo com o obtido por Morales (2006) ao estudar painéis OSB. Stangerlin et al. (2008) citam que na caracterização do comportamento mecânico da madeira sólida, comumente, são verificados valores do módulo de elasticidade dinâmico (MOED) superiores ao MOEE, devido a sua natureza visco-elástica, nos painéis. Conforme os resultados obtidos, esse comportamento foi verificado.

Corroborando, Oliveira et al. (2003) explicam que na vibração de uma espécie de madeira, a força elástica restaurada é proporcional ao deslocamento, e a força dissipativa é proporcional à velocidade. Portanto, quando a força é aplicada com curta duração, o material se comporta como um sólido elástico, enquanto que em uma longa duração o comportamento é igual ao de um líquido viscoso. Tal comportamento é mais proeminente no ensaio de flexão estática, o qual apresenta longa duração se comparado ao ensaio de ultrassom. Em consequência desse comportamento, o MOED obtido em ensaio de ultrassom é, em geral, maior que o módulo de elasticidade à flexão estática.

Autores como Bartholomeu (2001), Puccini (2002), Gonzalez et al. (2001) e Stangerlin et al. (2008) citam valores para a razão entre MOED e MOEE entre 1,06 e

1,60. Já para painéis, Castellanos (2003) reporta um quociente de 1,25 a 1,28. No presente trabalho, o quociente foi superior, atingindo a faixa de 1,42 a 2,43. No entanto, Stangerlin et al. (2009) observaram que o quociente oscilou entre 0,65 e 0,45 em painéis aglomerados de *Eucalyptus grandis* e *Bambusa vulgaris*; Arruda (2009) obteve valores entre 1,29 e 1,43 em painéis de *Pinus taeda* e *Gandua magna*.

Essas diferenças observadas podem ser explicadas, segundo Han et al. (2006), pela propagação da onda em materiais compostos, que pode ser afetada pela inexistência de continuidade nos painéis, de modo a proporcionar a dissipação e redução da velocidade ultrassônica e, conseqüentemente, afetar a precisão nas estimativas das constantes elásticas.

Na Figura 48, apresenta-se o modelo estimado para a massa específica observada e o módulo de elasticidade dinâmico direto, onde se observa a relação direta entre a MEo e o MOEDD. Como no presente estudo, Gonçalves e Silva (2002) obtiveram resultados adequados avaliando chapas de fibras de madeira por meio de ultrassom relacionando à massa específica ao módulo de elasticidade.

Grundström (1998), estudando a propagação de ondas ultrassônicas em painéis aglomerados com partículas de coníferas coladas com resina UF e massa específica de 0,68 g/cm³, encontrou valores médios de MOEDD de 2.300 MPa; já no presente estudo o valor foi de 977,53 MPa. Esta diferença pode ser explicada pela influência da massa específica (ME) dos painéis, visto que, com o acréscimo da ME, aumenta o MOEDD (Tabela 13 e Figura 48).

5.3.2 Arrancamento de parafusos

Na Tabela 14 observa-se a matriz de correlação entre as características físicas dos corpos de prova, o resultado do arrancamento de parafusos e dos ensaios não destrutivos. As correlações significativas, importantes, com o arrancamento de parafuso, foram as proporções de bambu e pinus, a massa específica observada e o módulo de elasticidade dinâmico direto, ambas significativas a 1% de probabilidade de erro.

Tabela 14 – Matriz de correlação simples de Pearson para o Arrancamento de parafuso

	%B	%P	%E	MEo	AP	MOEE	MOEDD
%B	1						
%P	-	1					
%E	-	-	1				
MEo	0,11ns	-0,05ns	-0,04ns	1			
AP	-0,50s	0,48s	-0,01ns	0,30s	1		
MOEDD	-0,24s	0,26s	-0,04ns	0,66s	0,62s	1	
MOEDI	0,08ns	0,12ns	-0,21s	0,16ns	0,19s	0,12ns	1

%B = Porcentagem de Bambu; %P = Porcentagem de Pinus; %E = Porcentagem Eucalipto; MEo = Massa Específica observada; AP = Arrancamento de parafuso; MOEDD = Módulo de Elasticidade Dinâmico Direto; MOEDI = Módulo de Elasticidade Dinâmico Indireto; s e ns = significativo e não significativo 5% de probabilidade de erro pelo teste de correlação de Pearson.

O arrancamento de parafuso (AP) foi significativo para o teste de correlação simples, com o bambu (50%) e pinus (48%). De acordo com a Tabela 14, o AP apresentou correlações inversas para o bambu e diretas para o pinus, ou seja, com o incremento de bambu nos painéis diminui o AP, já com o pinus ocorre o aumento do AP.

Na Figura 48 nota-se o modelo estimado entre o AP e a porcentagem de bambu e pinus, comprovando-se a tendência observada na matriz de correlações, com o formato de uma parábola. O desempenho dos painéis homogêneos de pinus (84,42 kgf) foi superior às combinações de bambu e pinus e dos homogêneos de bambu (52,25 kgf); entretanto, o valor mínimo requerido para a resistência ao arrancamento de parafusos, segundo a norma ANSI A 208.1 (1987), é de 102 kgf, exigência superior ao resultado obtido.

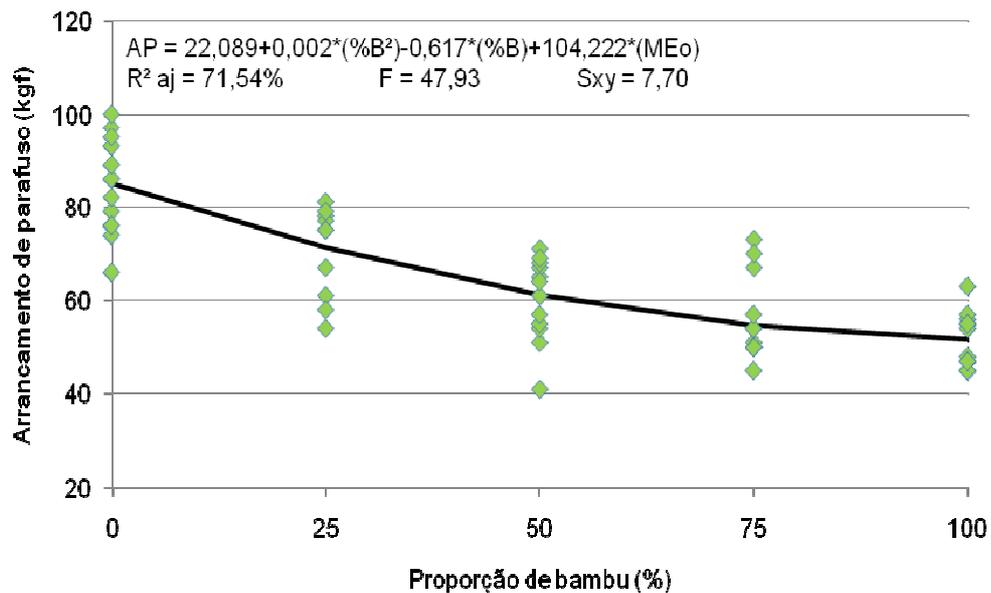


Figura 48 – Arrancamento de parafuso dos painéis formados por bambu e pinus para a MEo média

Para o arrancamento de parafuso, Dacosta (2004), em painéis constituídos por maravalha de *Pinus elliottii* massa específica de 0,60 e 0,70 g/cm³ com 8% de ureia- formaldeído, observou 55 e 75 kgf, respectivamente, valores inferiores aos do presente estudo (84,42 kgf). A autora salienta que a maravalha apresentou resultados menores do que os painéis similares feitos de partículas obtidas de madeira roliça. Isto sugere que houve deterioração ou enfraquecimento da madeira durante o processo de produção das maravalhas pelas plainas.

O estudo de Calegari et al. (2004) avaliou painéis de *Pinus elliottii* com 0,65 g/cm³ de massa específica e 10% de teor de adesivo e obteve 105 kgf, valor superior ao do presente estudo. Provavelmente o aumento do teor de adesivo pode ter incrementado o AP, fato observado por Colli et al. (2010) em seu estudo com painéis aglomerados de *Schyzolobium amazonicum* e fibras de *Cocos nucifera*.

Para os painéis formados pela combinação de bambu e eucalipto foi gerado um modelo linear para estimar o arrancamento de parafuso, na Figura 49, onde se constata que a melhor combinação foi formada somente por eucalipto. No MOR e MOE, o eucalipto teve desempenho inferior ao pinus, conseqüentemente, os painéis de eucalipto não satisfizeram a norma americana de comercialização ANSI A 208.1 para painéis de média massa específica do tipo 1.

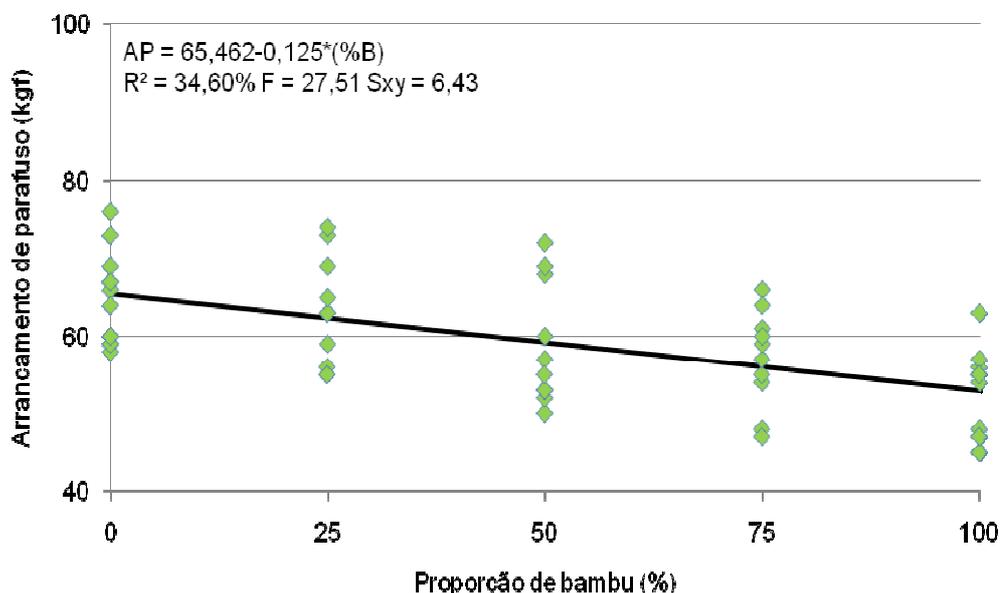


Figura 49 – Arrancamento de parafuso dos painéis formados por bambu e eucalipto para a MEo média

Melo e Del Menezzi (2010), em seu estudo com painéis de aglomerados de *Eucalyptus grandis*, observaram para o AP 72,4, 90,86 e 98,5 kgf para 0,60, 0,70 e 0,80 g/cm³, respectivamente, valores superiores aos do presente estudo (64,83 kgf). Entretanto, Pedrazzi (2005) observou 70 e 53 kgf para arrancamento de parafuso em painéis de palito e serragem de *Eucalyptus saligna* com 8% de UF. Nota-se que o valor obtido está no intervalo observado pela autora. A mesma salienta que a massa específica foi o fator mais influente no AP, sendo seguido pelo teor de adesivo.

A Figura 50 demonstra que os melhores desempenhos para o AP foram apresentados pelos tratamentos 10 (64,25 kgf) e 11 (62,42 kgf). Este comportamento foi distinto do observado nas Figuras 48 e 49, onde os painéis homogêneos de pinus apresentaram valores superiores aos das demais espécies. Isto pode ser consequência da proximidade entre as médias dos tratamentos 10 e 11, continuar, ou devido à amplitude referente ao tratamento 10 (Figura 51). Ao comparar, o desempenho do tratamento 10 (64,25 kgf) foi inferior aos homogêneos de pinus (84,42 kgf).

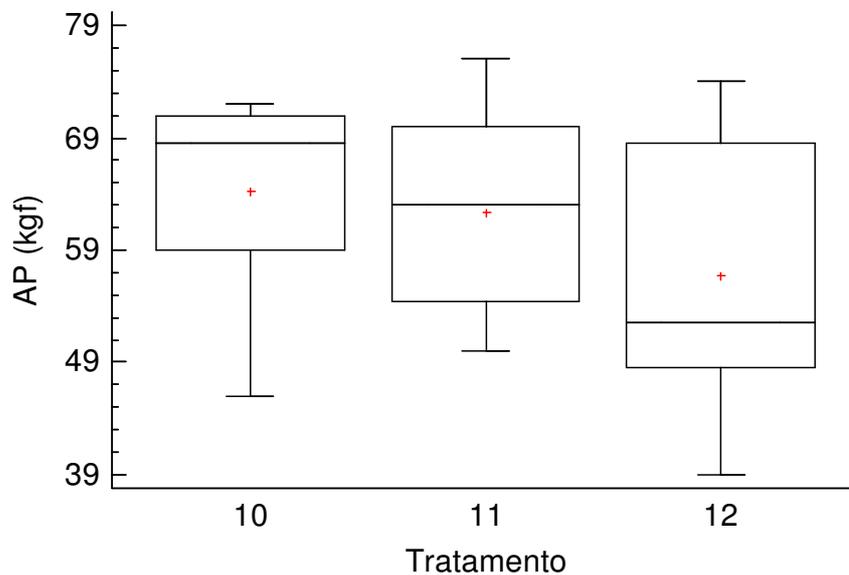


Figura 50 – Arrancamento de parafuso dos painéis confeccionados com misturas de bambu, pinus e eucalipto Onde: T10 = 25, 25, 50; T11 = 25, 50, 25; T12 = 50, 25, 25 para bambu, pinus e eucalipto, respectivamente

Arruda (2009) observou a média de 63,53 kgf para o AP em painéis homogêneos de *Guadua magna*, valor superior ao obtido no presente estudo 52,25 kgf. Entretanto, Calegari et al. (2007) encontraram valor médio inferior ao observado no presente estudo, com carga de 35,44 kgf para painéis de *Bambusa vulgaris* com 10% de UF, sendo inferior ao observado nesta pesquisa.

Em painéis de *Bambusa vulgaris* com 7 e 10% de UF, Vital e Haselein (1988) obtiveram 104 e 133 kgf de carga para o AP, valores superiores à norma de comercialização. Apesar de a espécie aqui utilizada ser distinta da espécie referida, nota-se que com o aumento do teor de adesivo, os painéis melhoraram o seu desempenho para o ensaio de AP.

Na Figura 51 observa-se o modelo estimado para o a AP através do módulo de elasticidade dinâmico direto (MOEDD), onde nota-se que a relação é direta entre o AP e o MOEDD. Um fator importante de ressaltar é que a relação entre o AP e o MOEDD foi maior do que a do AP e a MEO, assim, o MOEDD pode ser utilizado diretamente para a estimativa do arrancamento de parafuso.

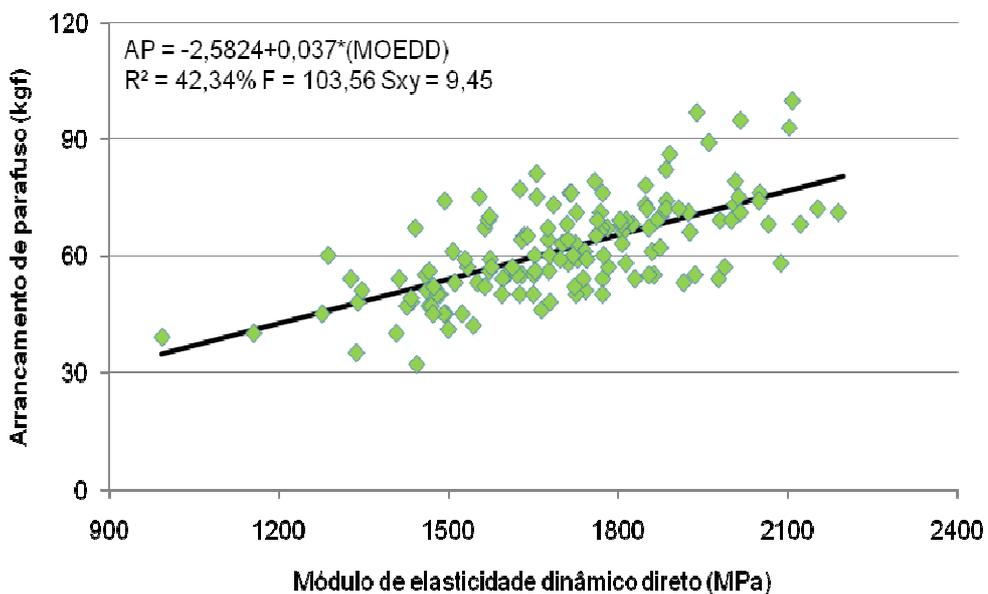


Figura 51 – Modelo estimado do arrancamento de parafuso através do módulo de elasticidade dinâmico direto

Uma provável explicação, para a correlação entre o AP e o MOEDD, é que a distribuição dos dados do AP seja similar ao do módulo de elasticidade estático. Para essa comprovação, foi calculada a correlação entre os dados e foi obtido percentual de 65% de explicação para os dados, os quais foram plotados na Figura 52, onde observa-se que existe similaridade entre a distribuição dos dados.

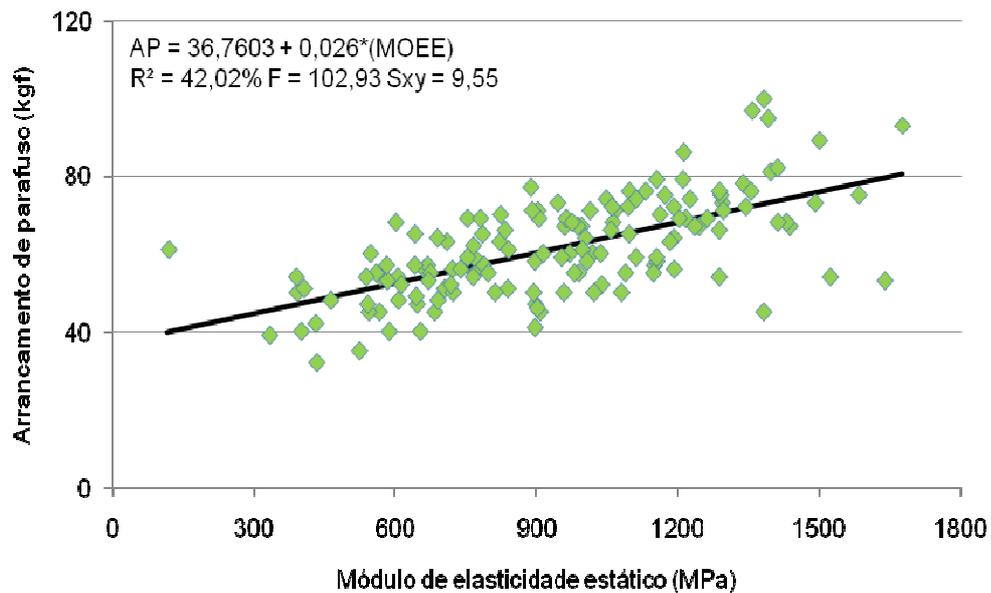


Figura 52 – Modelo estimado do arrancamento de parafuso através do módulo de elasticidade estático

5.3.3 Tração perpendicular à superfície da chapa (ligação interna)

Na Tabela 16 observa-se a matriz de correlação entre as características físicas dos corpos de prova, os resultados da tração e dos ensaios não destrutivos. As correlações significativas, importantes, com a tração, foram as proporções de bambu, pinus e eucalipto e o módulo de elasticidade dinâmico direto, ambas significativas a 1% de probabilidade de erro.

A ligação interna foi significativa, para o teste de correlação simples, com o bambu (-58%), pinus (76%) e eucalipto (-22%). De acordo com a Tabela 15, a tração apresentou correlação direta para o pinus e inversas para o bambu e o eucalipto, ou seja, com o incremento de pinus ocorre o aumento da Ligação Interna (LI), já com o aumento de bambu e eucalipto os painéis diminuem a LI.

IWAKIRI et al. (2008) também verificaram correlações entre a massa específica e a resistência mecânica de chapas aglomeradas, com exceção da ligação interna que, dentre os parâmetros estudados, foi o único em que não se obteve correlação.

Tabela 15 – Matriz de correlação simples de Pearson para a Tração

	%B	%P	%E	MEo	LI	MOEDD	MOEDI
%B	1						
%P	-	1					
%E	-	-	1				
MEo	0,08ns	0,10ns	-0,18s				
LI	-0,58s	0,76s	-0,22s	0,11ns			
MOEDD	-0,24s	0,26s	-0,04ns	-0,12ns	0,30s		
MOEDI	0,08ns	0,12ns	-0,21s	-0,01ns	0,15ns	0,12ns	1

%B = Porcentagem de Bambu; %P = Porcentagem de Pinus; %E = Porcentagem Eucalipto; MEo = Massa Específica observada; LI = Ligação Interna; MOEDD = Módulo de Elasticidade Dinâmico Direto; MOEDI = Módulo de Elasticidade Dinâmico Indireto; s e ns = significativo e não significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste de correlação de Pearson.

Na Figura 53 nota-se o modelo estimado entre a LI e a porcentagem de bambu e pinus, no qual se observa que com o aumento da proporção de bambu diminui-se a LI, exceto no caso dos painéis homogêneos de bambu. Este comportamento pode ser explicado pela incompatibilidade entre as espécies, já que os painéis fabricados apenas com bambu obtiveram valores superiores aos obtidos pela combinação de 75% de bambu e 25% de pinus. Porém, os melhores valores foram obtidos pelos painéis homogêneos de pinus (0,50 MPa), assim os valores observados foram superiores à norma americana de comercialização ANSI A 208.1, que admite como valor mínimo de 0,414 MPa para a LI.

Para a ligação interna, Iwakiri et al. (2010), em painéis de *Pinus taeda* com massa específica 0,75 g/cm³ e 8% de UF, encontraram média de 0,58 MPa, valor superior ao do presente estudo. Já, Dacosta (2004), em painéis constituídos por maravalha de *Pinus elliottii* massa específica de 0,60 g/cm³ com 8% e 12% de uréia formaldeído, observou 0,203 e 0,222 MPa, respectivamente, valores inferiores ao observado (0,50 MPa). Corroborando com o presente estudo, Cabral et. al. (2007) encontraram para painéis produzidos com mistura de *Eucalyptus urophylla* com *Pinus elliottii* e *Eucalyptus cloeziana* com *Pinus elliottii*, valores médios de 0,449 e 0,560 MPa, respectivamente para a ligação interna.

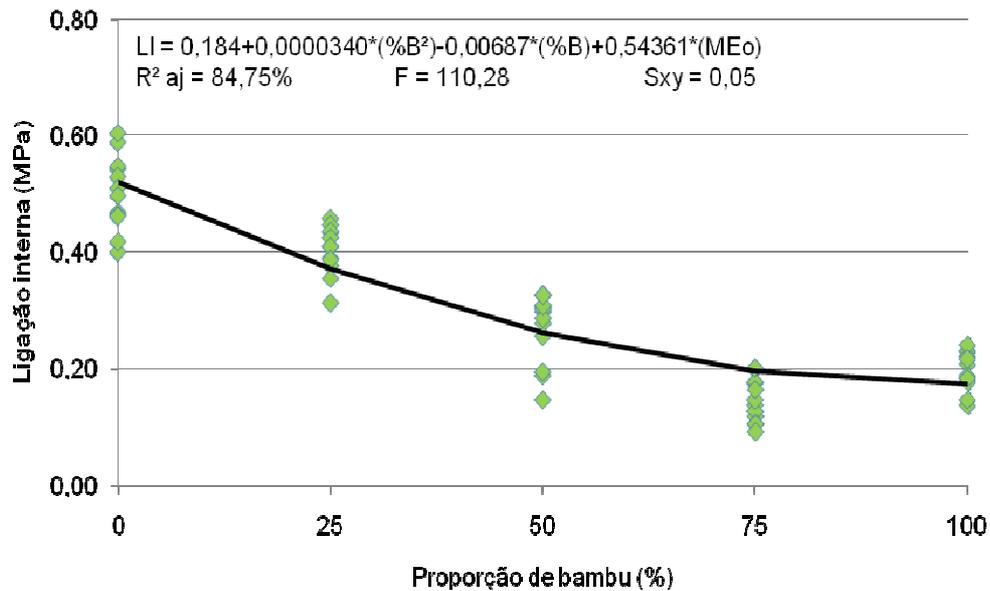


Figura 53 – Ligação interna dos painéis formados por de bambu e pinus para a MEo média

Para os painéis formados pela combinação de bambu e eucalipto foi gerado um modelo linear para estimar a ligação interna. Na Figura 54, onde, assim como nos painéis de bambu e pinus, observa-se que com o aumento da proporção de bambu diminui-se a LI, exceto os painéis homogêneos de bambu. Este comportamento sugere que as partículas de bambu não obtiveram boa adesão com as de eucalipto. Os melhores valores foram obtidos pelos painéis homogêneos de eucalipto (0,25 MPa), entretanto, o valor foi inferior ao da norma ANSI A 208.1 que preconiza 0,414 MPa para a LI.

Pedrazzi et al. (2006) em painéis aglomerados de palitos e serragem da espécie *Eucalyptus saligna*, observaram 0,17 e 0,13 MPa para a LI, sendo estes valores inferiores aos do presente estudo. Assim como no estudo de Naumann et al. (2008) em painéis de *Eucalyptus urophylla* foi observado valores inferiores sendo 0,16 e 0,22 MPa para maravalha e cavaco, respectivamente. Entretanto para Melo e Del Menezzi (2010) foram observados valores superiores (0,28, 0,31 e 0,35 MPa) em painéis de *Eucalyptus grandis* com diferentes massas específicas (0,60, 0,70 e 0,80 g/cm³). Os últimos autores acrescentam que, com o aumento da massa específica, observa-se o aumento das propriedades mecânicas dos painéis.

Corroborando com o presente estudo, Haselein et al. (1989) destacaram que uma das principais dificuldades de utilização da madeira de espécies do gênero *Eucalyptus* para manufatura de painéis é o inchamento excessivo e difícil colagem das partículas (baixa resistência à ligação interna). Entretanto, segundo Oliveira et al. (2010), o processo de acetilação é uma boa alternativa para diminuir o inchamento excessivo sem influenciar significativamente a ligação interna.

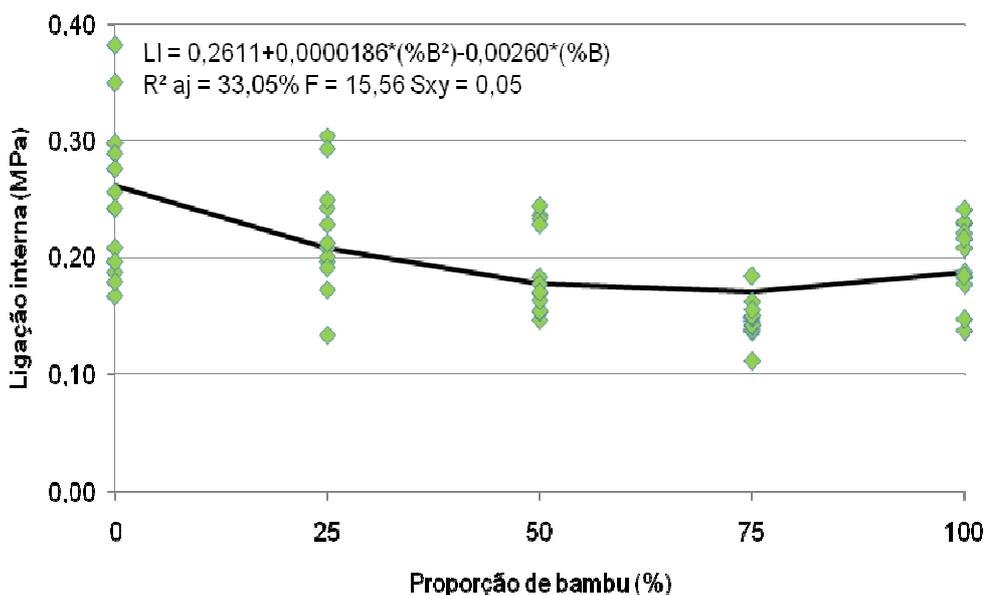


Figura 54 – Ligação interna dos painéis formados por bambu e eucalipto para a MEo média

Para os painéis formados pela combinação de bambu, pinus e eucalipto a maior resistência para a ligação interna foi obtida pelo tratamento 10 (0,24 MPa), assim como nos demais ensaios mecânicos (Figura 55). Corroborando com os demais ensaios mecânicos, o tratamento 10 foi melhor do que o 11; porém, neste caso, a amplitude dos dados foi mínima. Desse modo, pode-se afirmar que os painéis formados pelas 3 espécies apresentam melhor desempenho quando manufaturados com a predominância de eucalipto (25% bambu, 25% pinus e 50% eucalipto). Ao comparar, o desempenho do tratamento 10 (0,24 MPa) foi inferior aos homogêneos de pinus (0,50 MPa).

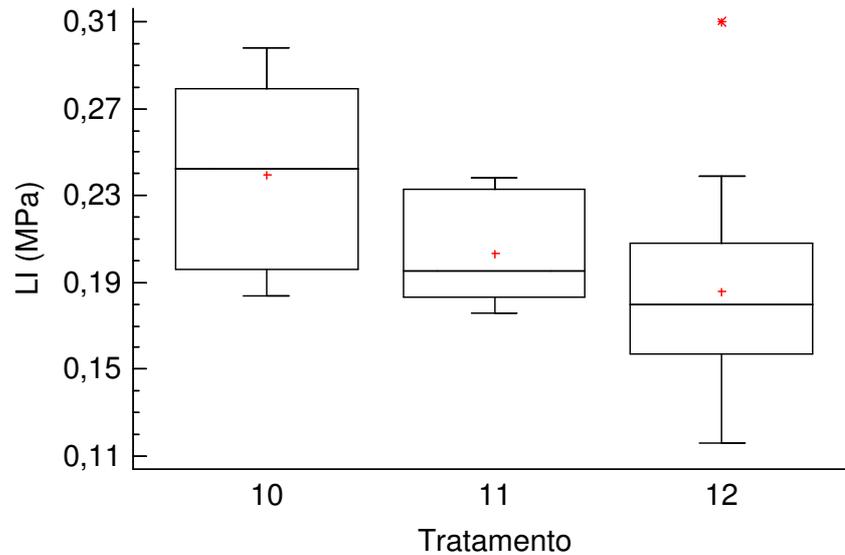


Figura 55 – Ligação interna dos painéis confeccionados com misturas de bambu, pinus e eucalipto Onde: T10 = 25, 25, 50; T11 = 25, 50, 25; T12 = 50, 25, 25 para bambu, pinus e eucalipto, respectivamente

Segundo Vital et al. (1992) partículas com maiores dimensões aumentam a eficiência do adesivo utilizado. Isto ocorre porque, para uma mesma massa de partículas, aquelas com maiores dimensões possuem menor área superficial e recebem maior quantidade de adesivo por unidade de área. Os autores acrescentam que partículas mais espessas melhoram as propriedades de tração perpendicular, comportamento observado ao se comparar os painéis homogêneos (bambu, pinus e eucalipto) com o coeficiente de esbeltez das partículas de cada espécie.

Arruda (2009) cita que painéis com menor inchamento em espessura têm contato mais próximo entre as partículas, o que proporciona um aumento na qualidade da adesão, tendência também observada no presente estudo.

Para a ligação interna (LI) em painéis de *Bambusa vulgaris* com 7 e 9% de UF, Vital e Haselein (1988) obtiveram valores superiores sendo 0,260 e 0,384 MPa, respectivamente, porém inferiores a norma ANSI A 208.1. Os autores relatam que com o aumento do teor de adesivo os painéis adquirem melhor desempenho para a LI. O mesmo comportamento foi observado por Valarelli et al. (2010) em painéis de *Dendrocalamus giganteus* com diferentes proporções (6, 8, 10 e 12%) de resina

cascomel em que obtiveram respectivamente 0,063, 0,089, 0,127 e 0,133 MPa, valores inferiores aos do presente estudo (0,20 MPa).

Moreno et al. (2007), em painéis de partículas de *Bambusa vulgaris* com 10% de ureia-formaldeído e diferentes massas específicas, 0,60 e 0,80 g/cm³, observaram 0,153 e 0,552 MPa, respectivamente. Os autores ressaltam que com o aumento da massa específica dos painéis aumenta a LI, comportamento que se deve ao maior contato relativo entre as partículas, já que se aumenta a quantidade de partículas e adesivo.

Corroborando com os resultados obtidos em painéis de *Bambusa tuldoides*, Vital e Haselein (1988) observaram que os painéis de *Bambusa vulgaris* não atingiram os valores mínimos estabelecidos pela norma para ensaios mecânicos. Os autores relatam que os painéis apresentaram baixo valor de resistência à tração, demonstrando que as partículas de bambu não se aderiram muito bem. Esta observação foi constada no estudo de Arruda (2009) em painéis de *Guadua magna* utilizando diferentes adesivos (ureia-formaldeído e fenol-formaldeído) a 8% da massa seca das partículas. A autora acrescenta que os painéis constituídos pelo adesivo de ureia-formaldeído obtiveram valores superiores aos de fenol formaldeído.

Conforme Xu et al. (1998), uma provável explicação para o desempenho inferior dos painéis de bambu, em relação ao mínimo exigido pela norma de comercialização, deve-se à presença das faces interna e externa. Os autores explicam que a face interna apresenta propriedades mecânicas inferiores às do restante do material, já a face externa é coberta por cera, que prejudica a colagem. Este comportamento foi observado por Calegari et al. (2007), comparando painéis de partículas e tiras de bambu com e sem epiderme, que observaram maiores valores de ligação interna nos painéis sem a epiderme.

A ligação interna (LI) obteve correlação inversa com o módulo de elasticidade dinâmico direto (MOEDD), explicando 30% dos dados (Tabela 16). Apesar da correlação, o MOEDD não poderá ser aplicado para a determinação da LI devido ao baixo coeficiente de determinação da reta ajustada próximo a 10%, apesar do modelo ser significativo (Tabela 17).

Tabela 16 – Valor de F, Probabilidade e coeficiente de determinação para a estimativa da LI através do MOEDD

Modelo	F	P	R²
LI = - 0,0255917+0,000158974*(MOEDD)	14,78	0,0002**	9,43%

F = F calculado; P = Probabilidade; R² = Coeficiente de determinação; ** e ns = 1% probabilidade de erro e não significativo respectivamente pela análise de variância.

6 CONCLUSÕES

A massa específica dos colmos de *Bambusa tuldoides* foi inferior à massa das demais espécies de bambu.

Após o processo de fabricação da matéria-prima notou-se que esta espécie de bambu produz partículas com maiores índices de esbeltez, relação entre o comprimento e o diâmetro, quando comparada com as espécies utilizadas industrialmente para a fabricação de painéis.

No ensaio de absorção d'água após 2 horas, os painéis de bambu apresentaram desempenho inferior aos painéis de pinus e eucalipto. Para a absorção d'água após 24 horas, os painéis de pinus foram os que apresentaram os menores valores, seguidos dos de bambu. Houve correlação linear e negativa entre a absorção d'água após 2 e 24 horas em relação à massa específica observada nos corpos de prova.

Para o inchamento em espessura após 2 e 24 horas, os painéis de bambu apresentaram desempenho inferior aos painéis de pinus, porém superiores aos de eucalipto. Os valores médios encontrados para o inchamento em espessura após 24 horas nos painéis de pinus e bambu foram abaixo da norma de comercialização ANSI 208.1. Houve correlação linear e positiva entre o inchamento em espessura após 24 horas com a massa específica observada nos corpos de prova.

Com relação à flexão estática, o módulo de ruptura (MOR) e o módulo de elasticidade estático (MOEE), apresentaram valores decrescentes com incremento de bambu nos painéis de madeira (pinus e eucalipto). Os valores de MOR foram inferiores à norma ANSI A 208.1, inclusive no caso dos painéis homogêneos de madeira. Houve correlação alta e positiva entre o MOR e o MOE, já a massa específica observada apresentou baixa correlação com o MOR e o MOE.

Para a resistência ao arrancamento de parafuso, o incremento de bambu nos painéis de madeira resultou no decréscimo desta variável. O melhor desempenho foi obtido pelos painéis homogêneos de pinus, porém o valor exigido pela norma ANSI A 208.1 (1987) é superior ao obtido.

Na ligação interna, apenas as proporções das espécies foram significativas, observando-se que os painéis de pinus homogêneos foram superiores àqueles dos

demais painéis, superando os valores mínimos da norma ANSI A 208.1. Já os demais painéis ficaram abaixo dos padrões de qualidade, apresentando baixa qualidade de colagem.

De uma forma geral, os painéis com 3 espécies foram inferiores aos painéis formados pelas espécies homogêneas utilizadas comercialmente. No entanto, foram superiores aos painéis homogêneos de bambu nos ensaios de inchamento em espessura após 24 horas, módulo de ruptura e de elasticidade estático, resistência ao arrancamento de parafusos e ligação interna; e foram inferiores no caso do inchamento em espessura após 2 horas e da absorção d'água após 2 e 24 horas.

Para os ensaios não destrutivos, o método de propagação direto apresentou melhores correlações quando comparado ao método indireto. As correlações significativas do módulo de elasticidade dinâmico direto, em ordem de significância, ocorreram com a massa específica observada, com o arrancamento de parafusos, e com os módulos de ruptura e de elasticidade estático.

Para trabalhos futuros sugere-se que os painéis de bambu sejam manufaturados com parafina para aumentar a eficiência nos ensaios físicos. Já para o desempenho mecânico sugere-se o aumento da massa específica e a utilização de diferentes e/ou maiores teores de adesivos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, A. L. A.; VALARELLI, I. D.; LIMA, F. L. S.; BATTISTELLE, R. A. G. Avaliação das propriedades físicas das chapas homogêneas compostas de bambu e pinus utilizando resina poliuretana a base de mamona. In: XI ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 2008, Londrina. **Anais eletrônicos...** Londrina: UEL, 2008. Disponível em: <<http://www.ebramem.expertu.com.br>>. Acesso em: 23 jul. 2010.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE – ANSI-A-208.1-87. **Mat-formed wood particleboard**. New York, 1987.

ARRUDA, L. M. **Propriedades de painéis aglomerados com resinas sintéticas a partir da mistura do bambu *Guadua magna* Londoño & Filgueiras e da madeira de *Pinus taeda* L.** 2009. 53f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

AZZINI, A.; ARRUDA, M. C. Q.; FILHO, M. T.; SALGADO, A. L. B.; CIARAMELLO, D. Variações dos teores de fibras celulósicas e amido no colmo de bambu. **Revista de Ciências Agrônômicas Bragantia** [online]. Vol. 46, n.1, pp. 141-145, 1987.

AZZINI, A.; CIARAMELLO, D.; SALGADO, A. L. B.; TOMAZELLO, M. F. Densidade básica do colmo e fibras celulósicas em progênies de *Bambusa tuldoides* Munro. **Bragantia**. vol. 47, n. 2, p. 239-246, 1988.

BAI, X. **Experimental and numerical evaluations of structural bamboo-based composite materials**. 1996. V. 1, 163f. Dissertation (MS in Forest Resources) – Clemson University, Clemson, 1996.

BARTHOLOMEU, A. **Classificação de peças estruturais de madeira através do ultrassom**. 2001, 105f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

BERALDO, A. L.; AZZINI, A.; **Bambu características e aplicações**. Rio Grande do Sul: Editora Agropecuária Ltda, Guaíba, 2004. p. 37-55.

BERALDO, A. L.; FREIRE, W. J.; **Tecnologias e materiais alternativos de construção**. São Paulo: Editora Unicamp, 2003.

BISWAS, S. Bamboo biodiversity in Índia. Forest Research Institute, Indian Council of Forestry Research and Education. VII WORLD BAMBOO CONGRESS. New Dheli, February-march, 2004.

CABRAL, C. P.; VITAL, B. R.; LUCIA, R. M. D.; PIMENTA, A. S. Propriedades de chapas de aglomerado confeccionadas com misturas de partículas de *Eucalyptus spp* e *Pinus elliottii*. **Revista Árvore**, v. 31, n.5, p.897-905, 2007.

CALEGARI, L.; HASELEIN, C. R.; SCARAVELLI, T. L.; SANTINI, E. J.; STANGERLIN, D. M.; GATTO, D. A.; TREVISAN, R. Desempenho físico-mecânico de painéis fabricados com bambu (*Bambusa vulgaris* Schr.) em combinação com madeira. **Revista Cerne**, Lavras, v. 13, n. 1, p. 57-63, 2007.

CALEGARI, L.; HASELEIN, C. R.; BARROS, M. V.; SCARAVELLI, T. L.; DACOSTA, L. P. E.; PEDRAZZI, C.; HILLIG, E. Adição de aparas de papel reciclável na fabricação de chapas de madeira aglomerada. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v.14, n.1, p.193-204, 2004.

CARVALHO, M. R. O.; VALLARELI, I. D.; VISNARDI, O. C. Avaliação do comportamento das chapas aglomeradas de Bambu e Pinus em relação ao teor de umidade, absorção de água e inchamento em espessura. In: Congresso de iniciação científica da UNESP, 2009, São José do Rio Preto. **Anais eletrônicos...** São José do Rio Preto: UNESP, 2009. Disponível em: <http://prope.unesp.br/xxi_cic>. Acesso em: 12 abr. 2011.

CASTELLANOS, J. R. S. Caracterización mecánica de madera reconstituida: modulo de elasticidad de tableros de partículas de madera evaluado con metodos no destructivos. **Maderas Ciencia y Tecnología**, v.5, n.1, p.20-43, 2003.

COLLI, A.; VITAL, B. R.; CARNEIRO, A. C. O.; SILVA, J. C.; CARVALHO, A. M. M. L.; LUCIA, R. M. D. Propriedades de chapas fabricadas com partículas de madeira de Paricá (*Schyzolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) e fibras de Coco (*Cocos nucifera* L.). **Revista Árvore**, v.34, n.2, p.333-338, 2010.

DACOSTA, L. P. E. **Utilização de resíduos do processamento mecânico da madeira para a fabricação de chapas aglomeradas**. 2004, 118f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

DACOSTA, L. P. E.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J.; SCHNEIDER, P. R.; CALEGARI, L. Qualidade das chapas de partículas aglomeradas fabricadas com resíduos do processamento mecânico da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 3, p. 311-322, 2005.

DEL MENEZZI, C. H. S.; SOUZA, M. R.; GONÇALEZ, J. C. Fabricação e avaliação tecnológica da chapa aglomerada. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 20, n. 3, p. 371-379, 1996.

DUNKELBERG, K. Bamboo as a Building Material In: **IL 31 Bambus - Bamboo**, Institute for Lightweight Structures, University of Stuttgart, West Germany, 1985.

FERRAZ, J. M.; DEL MENEZZI, C. H. S.; TEIXEIRA, D. E.; OKINO, E. Y. A.; SOUZA, F.; BRAVIM, A. G. Propriedades de painéis de partículas laminadas paralelas utilizados como alternativa à madeira maciça. **Revista Cerne**, v.15, n.1, p.67-74, 2009.

FILGUEIRAS, T. S. e GONÇALVES, A. P. S. A Checklist of the basal grasses and bamboos in Brazil (*Poaceae*). **The Journal of the American Bamboo Society**, v.18, n.1, p. 7-18, 2004.

GERMAN STANDARDS COMMITTEE. Deutschen Normenausschuss. **Specifications for particleboards**. Holtz, 1971. (DIN 68761 (1)-1961 (3)).

GHAVAMI, K. Application of bamboo as a low-cost energy material in civil engineering. **THIRD CIB RILEM SYMPOSIUM ON MATERIALS FOR LOW INCOME HOUSING**. México City, 1989, p. 526-536.

GHAVAMI, K. Estruturas de Concreto Armado com Bambu. In: CECAP-PUC-Rio, 6. 1990, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 1990, Vol. 1, p. 149-175.

GINZEL, W.; PERAZA C. Tecnologia de tableros de partículas. Madrid: Instituto Florestal de Investigaciones y Experiencias, 1966. 187 p.

GONÇALVES R.; SILVA S. A. M. Avaliação de chapas de fibra de madeira utilizando ultra-som. In: **II CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS FLORESTAIS E I SEMINÁRIO EM TECNOLOGIA DA MADEIRA E PRODUTOS FLORESTAIS NÃO-MADEIRÁVEIS**, 2002, Curitiba. Anais do II Congresso Ibero Americano de Pesquisa e Desenvolvimento de Produtos Florestais, v.1, p.1-11, 2002.

HALABE, U. B.; BIDIGALU, G. M.; GANGARAO, H. V. S.; ROSS, R. J. Nondestructive evaluation of green wood using stress wave and transverse vibration techniques. **Materials evaluation**, v.55, n.9, p.1013-1018, 1995.

HAN, G.; WU, Q.; WANG, X. Stress-wave velocity of wood-based panels: effect of moisture, product type and material direction. **Forest Products Journal**, v.56, n.1, p.28-33, 2006.

HASELEIN, C. R. **Análise de parâmetros para a fabricação de chapas de partículas aglomeradas de madeira de eucalipto (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden) e embaúva (*Cecropia sp.*)**. 1989, 75f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1989.

HILLIG, É. **Qualidade de chapas aglomeradas estruturais, fabricadas com madeira de pinus, eucalipto e acácia negra, puras ou misturadas, coladas com tanino-formaldeído**. 2000, 96f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

HILLIG, É.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J. Propriedades mecânicas de chapas aglomeradas estruturais fabricadas com madeiras de pinus, eucalipto e acácia-negra. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 59-70, 2002.

HIZIROGLU, S.; JARUSOMBUTI, S.; FUEANGVIVAT, V. Properties of bamboo-rice straw-eucalyptus composite panels. **Forest Products Journal**, Madison, v. 55, n. 12, p. 221-225, 2005.

IWAKIRI, S.; STINGHEN, A. B. M.; SILVEIRA, E. L.; ZAMARIAN, E. H. C.; PRATA, J. G.; BRONOSKI, M. Influência da massa específica sobre a resistência mecânica de painéis aglomerados. **Revista Floresta**, v.38, n.3, p.487-493, 2008.

IWAKIRI, S.; CUNHA, A. B.; ALBUQUERQUE, C. E. C.; GORNIK, E.; MENDES, L. M. Resíduos de serrarias na produção de painéis de madeira aglomerada de eucalipto. **Revista Scientia Agraria**, Piracicaba, v. 1, n. 1-2, p. 23-28, 2000.

IWAKIRI, S.; ZELLER, F.; PINTO, J. A.; RAMIREZ, M. G. L.; SOUZA, M. M.; SEIXAS, R. Avaliação do potencial de utilização da madeira de *Schizolobium amazonicum* "Paricá" e *Cecropia hololeuca* "Embaúba" para produção de painéis aglomerados. **Revista Acta Amazonica**, Vol. 40 n. 2, p. 303-308, 2010.

JANSSEN, J. J. A. **Building with bamboo**. London: Intermediate Technology Publications. 1988. p. 68

JANSSEN, J. J. A. **Designing and building with bamboo**. International Network for Bamboo and Rattan (INBAR). Beijing, China: Technical report. nº. 20. 2000.

JARAMILLO, S. V. La Gradua em los grandes proyectos de inversion. IN; CONGRESSO MUNDIAL DE BAMBU/GUADUA, I., 1992, Pereira. **Anais...** Pereira, 1992. 219 p.

JAYNE, B. A. Vibrational properties of wood as indices of quality. **Forest Products Journal**. v.9, n.11, p.413–416, 1959.

JOSÉ, F. J.; BERALDO, A. L. Chapas prensadas de partículas de bambu e adesivo poliuretana à base de óleo de mamona. . In: X ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 2006, Londrina. **Anais eletrônicos...** São Pedro: UNESP, 2006. Disponível em: <www.cevemad.fca.unesp.br/ebramem>. Acesso em: 23 jul. 2010.

JUNIOR, M. L. C. **Recomendação para projeto de piso de Bambu Laminado Colado – BLC**. 2008. 163f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana). Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2008.

JUNIOR, S. M. S. M. **Bambus como recurso florestal: suas aplicações, manejo silvicultura, propagação, entomologia e a situação no DF**. 2004. 50f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal). Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

KAISERLIK, J. H.; PELLERIN, R. F. Stress wave attenuation as an indicator of lumber strength. **Forest Products Journal**. v.27, n.6, p.39-43, 1977.

KELLY, M. W. **Critical literature review of relationships between processing and physical properties of particleboard**. USDA Forest Service – FPL: Madison, 1977, 66p.

KOLLMANN, F. F. P.; CÔTÉ JR, W. A. **Principles of wood science and technology**. I. Solid Wood. New York: Springer, 1968.

KOLLMANN, F. P.; KUENZI, E. W.; STAMM, A. J. **Principles of wood science and technology. Wood based materials. Properties of Particleboard**. Nail-Holding and Screw-Holding Ability. New York. 1975, p. 523-529.

LAPO, L. E. R.; BERALDO, A. L. Avaliação de características de chapas de partículas de bambu e adesivo poliuretana à base de óleo de mamona. In: XI ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 2008, Londrina. **Anais eletrônicos...** Londrina: UEL, 2008. Disponível em: <<http://www.ebramem.expertu.com.br>>. Acesso em: 23 abr. 2011.

LEE, A. W. C.; BAI, X.; PERALTA, P. N. Physical and mechanical properties of strandboard made from Moso bamboo. **Forest Products Journal**, Madison, v. 46, n. 11/12, p. 84-88, 1996.

LEE, A. W. C.; BAI, X.; PERALTA, P. N. Selected physical and mechanical properties of giant timber bamboo grown in South Carolina. **Forest Products Journal**, vol. 44. n. 9. 1994. p. 40-46.

LIESE, W. **Bamboos - Biology, Silvics, Properties, Utilization**. Estocolm, Suécia: GTZ, 1985. 218 p.

LIESE, W. The Anatomy of bamboo culms. INBAR – International Network for bamboo and rattan. China: Technical Report. 1998. 204 p.

LIMA, F. L. S.; VALARELLI, I. D.; GONÇALVES, M. T. T.; ALMEIDA, A. L. A. Caracterização física de chapas homogêneas aglomeradas de bambu fabricadas com adesivo poliuretana à base de óleo de mamona. In: XI ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 2008, Londrina. **Anais eletrônicos...** Londrina: UEL, 2008. Disponível em: <<http://www.ebramem.expertu.com.br>>. Acesso em: 23 jul. 2010.

LONDOÑO, X. Generalidades botânicas de los bambus del neotropico com enfasis em el gênero Guadua. In: I SIMPÓSIO NACIONAL DE BAMBU DEL EQUADOR, 1991, Portoviejo Manabi. **Anais...** Portoviejo Manabi. 1991. 6 p.

LÓPEZ, O. H. **Bambu su cultivo y aplicaciones en: fabricación de papel, construcción, arquitectura, ingeniería, artesanía**. Colombia: Italgraf, 1974.

LÓPEZ, O. H. **The gift of the gods**. 1º Edição, D'VINNI LTDA. Bogotá, Colômbia, 2003.

MACEDO, A. R. P.; ROQUE, C. A. L.; LEITE, E. T. **Produtos sólidos de madeira**. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br/conhecimento/bnset/madexpo.pdf>>. Acesso em: 23 jul. 2010.

MACIEL, A. S. **Chapas de partículas aglomeradas de madeira de *Pinus elliottii* ou *Eucalyptus grandis*, em mistura com poliestireno e polietileno tereftalato.** 2001. 115 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard e dry-process fiberboard manufacturing.** 2. Ed. São Francisco: Miller Freeman, 1993. 689 p.

MARRA, A. A. **Technology of Wood Bonding; Principles in Practice.** New York: Van Nostrand Reinhold, 453p. 1992.

MELKANIA, U. **Status of bamboo industry vis-a-vis enviromental issues.** VII WOLRD BAMBOO CONGRESS. New Dheli, February-march, 2004.

MELO, R. R. **Propriedades físico-mecânicas e resistência a biodeterioradores de chapas aglomeradas constituídas por diferentes proporções de madeira e casca de arroz.** 2009. 77f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

MELO, R. R.; DEL MENEZZI, C. H. S. Influência da massa específica nas propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados. **Revista Silva Lusitana**, Lisboa, v. 18, n. 1, p. 59-73, 2010.

MENDES, L. M. ***Pinus spp.* na produção de painéis de partículas orientadas (OSB).** 2001. 156f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

MENDONÇA, L. L. **Produção de painéis de madeira com clones de *Eucalyptus urophylla*: estudo de caso para uso na indústria de móveis e construção civil.** 2008. 115f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais). Universidade do Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

MINÁ, A. J. S.; OLIVEIRA, F. G. R.; JUNIOR, C. C.; DIAS, A. A.; SALES, A. Avaliação não destrutiva de postes de madeira por meio de ultrassom. **Revista Scientia Forestalis**, v.1, n.65, p.188-189, 2004.

MODES, K. S. **Efeito da retificação térmica nas propriedades físico-mecânicas e biológica das madeiras de *Pinus taeda* e *Eucalyptus grandis*.** 2010. 100f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

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

MORAIS, W. W. C. VIVIAN, M. A.; SUSIN, F.; SOUZA, J.; T.; BELTRAME, R.; MODES, K. S.; HASELEIN, C. R. Avaliação da massa específica básica ao longo da altura total para *Bambusa tuldooides*. In: XII ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 2010, Lavras. **Anais eletrônicos...** Lavras: UFLA, 2010. Disponível em: <<http://www.xiiebramem.ufla.br/>>. Acesso em: 16 ago. 2010.

MORALES, E. A. M. **Técnicas de propagação de ondas na estimativa de propriedades mecânicas de painéis OSB.** 2006, 94f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2006.

MORENO, P. A. P.; GARAY, D. A. J.; DURÁN, J. A. P.; VALERO, S. W. Utilización de bambusa vulgaris como una alternativa en la fabricación de tableros aglomerados de partículas. **Revista Forestal Latinoamericana**, Merida, v. 22, n. 42, p. 31-50, 2007.

MORENO, P. A.; GARAY, D. A.; DURÁN, J. A.; VALERO, S. W. Utilización de *Bambusa vulgaris* como una alternativa en la fabricación de tableros aglomerados de partículas. **Revista Forestal Latinoamericana**, v.42, p.31-50, 2007.

NASCIMENTO, M. F.; LAHR, F. A. R. Emprego da Algaroba (*Prosopis juliflora*) na produção de chapas de partículas homogêneas. **Revista Minerva**, São Carlos, v. 4, n. 1, p 51-56, 2007.

NATIONAL MISSION ON BAMBOO APPLICATIONS - NMBA. **Bamboo flooring, market assessment.** MA 01. Nova Delhi, 2004.

NUNES, A. R. S. **Construindo com a natureza bambu: Uma alternativa de ecodesenvolvimento.** 2005. 122f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente). Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2005.

OLIVEIRA, F. G. R.; CANDIAN, M.; LUCCHETTE, F. F.; JUNIOR, C. C.; SALES, A. Avaliação de propriedades mecânicas de madeira por meio de ultra-som. In: PAN AMERICAN CONFERENCE FOR NONDESTRUCTIVE TESTING, 3., 2003, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Pan American Conference for Nondestructive Testing, 5p, 2003.

OLIVEIRA, F. L.; LIMA, I. L.; GARCIA, J. N.; FLORSHEIM, S. M. B. Propriedades da madeira de *Pinus taeda* L. em função da idade e da posição radial na tora. **Revista Instituto Florestal**, São Paulo, v. 18, n. único, p. 59-70, dez. 2006.

OLIVEIRA, F. V.; VITAL, B. R.; SILVA, J. C.; CARNEIRO, A. C. O.; PIMENTA, A. S. Efeito da acetilação das partículas de madeira de *Eucalyptus grandis* e da inclusão de partículas de polietileno e de embalagens cartonadas nas propriedades de chapas de aglomerado. **Revista Árvore**, v.34, n.5, p.937-946, 2010.

OLIVEIRA, T. F. C. S. **Sustentabilidade e arquitetura: Uma reflexão sobre o uso do bambu na construção civil**. 2006. 136f. Dissertação (Mestrado em Dinâmica do Espaço Habitado). Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2006.

OSTAPIV, F. **Análise e melhoria do processo produtivo de tábuas de bambu (*Phyllostachys pubescens*) com foco em pisos**. 2007. 112f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

PAPADOPOULOS, A. N.; HILL, C. A. S.; GKARAVELI, A. Bamboo chips (*Bambusa vulgaris*) as an alternative lignocellulosic raw material for particleboard manufacture. **Holz Roh Werkst**, [S.l.], v. 62, p. 36-39, Jan. 2004.

PAULI, G. **Emissão Zero: A busca de novos paradigmas: o que os negócios podem oferecer à sociedade**. Editora da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul – EDIPUCRS, Porto Alegre, 1996, 312 p.

PAULI, G. **UPsizing: como gerar mais renda, criar mais postos de trabalho e eliminar a poluição**. Porto Alegre, Fundação Zeri Brasil, 2005, 356 p.

PEDRAZZI, C. **Qualidade de chapas de partículas de madeira aglomeradas com resíduos de uma indústria de celulose**. 2005, 122f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

PELLERIN, R. F. A vibrational approach to nondestructive testing of structural lumber. **Forest Products Journal**. v.15, n.3, p.93-101, 1965.

PEREIRA, M. A. **Bambu: espécies, características e aplicações**. Bauru SP: Editora da UNESP, 2001. 58 p.

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

POLUCHA, F. S.; WATANABE, H. L.; FERNANDES, D. M. P. Design para sustentabilidade: Bambu laminado e vidro reciclado na produção de móveis. In: 7º Congresso brasileiro de pesquisa e desenvolvimento em design, 2006, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 2006.

PUCCINI, C. T. **Avaliação de aspectos de qualidade da madeira utilizando o ultra-som**. 2002, 139f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

RABELO, I. D. **Propriedades mecânicas das conexões de estruturas espaciais de bambu mosso roliço**. 2009. 20f. Projeto de tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

RAFAEL A. L. L.; VALARELLI, I. D.; BARBOSA, M. M. ; SAMPAIO, R. M. Utilização resíduos de celulose reforçada com resíduos de bambu *Dendrocalamus giganteus* em Chapas de Partículas: Caracterização Física e Mecânica, Bauru, FEB - Unesp, Iniciação Científica; 2005.

ROSS, R. J.; PELLERIN, R. F. NDE of wood-based composites with longitudinal stress waves. **Forest Products Journal**. v.38, n.5, p.39-45, 1988.

ROWELL, R. M.; HAN, J. S.; ROWELL, J. S. Characterization and Factors Affecting Fiber Properties, In: NATURAL POLYMERS AND AGROFIBERS BASED COMPOSITES, Section II - Agrofibers Composites, p.115, Elisabete Frollini et al. (ed.). Embrapa Instrumentação Agropecuária Ed., São Carlos-SP (2000).

SALDANHA, L. K. **Alternativas tecnológicas para produção de chapas de partículas orientadas OSB**. 2004. 83 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

SALDANHA, L. K.; IWAKIRI, S. Influência da densidade e do tipo de resina nas propriedades tecnológicas de painéis osb de *Pinus taeda* L. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 3, p. 571-576, 2009.

SANDOZ, J. L. Wood Testing Using Acousto-Ultrasonic. In: PROCEEDINGS OF THE WORLD CONFERENCE ON TIMBER ENGINEERING (WCTE 2000), 2000, British Columbia, Canadá. **Anais eletrônicos...** British Columbia: Whistler Resort, 2000. Disponível em: < <http://timber.ce.wsu.edu>>. Acesso em: 23 abr. 2011.

SASAOKA, S. **Straat bambu**. 2009. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/drops/09.027/1798>>. Acesso em: 17 jun. 2010.

SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. Diagnósticos sobre Bambu XI. Disponível em: <<http://www.ms.sebrae.com.br>>. Acesso em: 14 jul. 2010.

SILVA, J. C. **Aglomerado: características, propriedades e usos**. UFPR, Curitiba, Paraná, 2000.

SILVA, J. C.; OLIVEIRA, J. T. S.; FILHO, M. T.; JÚNIOR, S. K.; MATOS, J. L. M. Influência da idade e da posição radial na massa específica da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. MAIDEN. **Revista Floresta, Curitiba**, v. 34, n. 1, p. 13-22, 2004.

SILVA, R. M. C. **O bambu no Brasil e no mundo**. 2005. Disponível em: <<http://www.institutoeu.com.br>>. Acesso em: 17 jun. 2010.

SILVA, R. M. C. **Caracterização do Taquaruçu (*Guadua sp.*) e do seu ambiente de ocorrência na Bacia do Rio Crixás-Açu, Goiás, Brasil**. 2005. 81f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2005.

SPOLIDORO, P. V. **Características dendrométricas e propriedades físicas dos colmos de *Bambusa vulgaris* e *Bambusa tuldoides***. 2008. 55f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

STANGERLIN, D. M.; MELO, R. R.; GARLET, A.; COSTA, A. F.; DEL MENEZZI, C. H. S.; GATTO, D. A. Resistência natural de painéis aglomerados bambu-madeira ao ataque de fungos apodrecedores. In: XII ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 2010, Lavras. **Anais eletrônicos...** Lavras: UFLA, 2010. Disponível em: <<http://www.xiiebramem.ufla.br/>>. Acesso em: 14 ago. 2010.

STANGERLIN, D. M.; CALEGARI, L.; SANTINI, E. J.; DOMINGUES, J. M. X.; GATTO, D. A.; MELO, R. R. Determinação do módulo de elasticidade em madeiras por meio de métodos destrutivo e não-destrutivo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.3, n.2, p.145-150, 2008.

STANGERLIN, D. M.; MELO, R. R.; GATTO, D. A.; CADEMARTORI, P. H. G.; CASTELO, P. A. R.; CALEGARI, L. Estimativa do módulo de elasticidade em painéis aglomerados por meio de emissão de ondas ultra-sonoras. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v.5, n.3, p.17-22, 2010.

STANGERLIN, D. M.; MELO, R. R.; GATTO, D. A.; CALEGARI, L.; BELTRAME, R.; SCHNEID, E. Propagação de ondas ultra-sonoras pelo método semi-direto em painéis aglomerados madeira-bambu. In: XVIII Congresso de Iniciação Científica e XI Encontro de Pós-Graduação e a I Mostra Científica, 2009, Pelotas. **Anais eletrônicos...** Pelotas: UFPEL, 2009. Disponível em: <<http://www.ufpel.edu.br>>. Acesso em: 27 abr. 2011.

SUCHSLAND, O. Higrscopic thickness swelling and related properties of selected commercial particleboard. **Forest Products Journal**, v.23, n.7, p.26-30, 1973.

SUCHSLAND, O.; WOODSON, G. E. **Fiberboard manufacturing practices in United States**. Washington, DC: USDA, 1987. 263 p. (USDA. Agricultural Handbook n. 640).

TEIXEIRA, A. A. **Painéis de bambu para habitações econômicas: Avaliação do Desempenho de Painéis Revestidos com Argamassa**. 2006. 117f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

UCHIMURA, M. S. **SBRT** – Resposta Técnica n. 2699, 2006. Disponível em: <<http://sbrt.ibict.br/upload/sbrt2699.pdf>>. Acesso em: 23 jul. 2010.

VALARELLI, I. D.; BATTISTELLE R. A. G.; SAMPAIO, R. M. Chapa aglomerada homogênea de bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus*: análise da resistência a flexão quando da adição de folha caulinar. In: XI ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA LONDRINA, 2008, Londrina. **Anais eletrônicos...** Londrina: UEL, 2008. Disponível em: <<http://www.ebramem.expertu.com.br>>. Acesso em: 23 jul. 2010.

VALARELLI, I. D.; LAHR, F. A. R.; GONÇALVES, M. T. T.; BATTISTELLE, R. A. G. Avaliação da resina cascomel em chapas aglomeradas homogêneas de bambu. In: XII ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 2010, Lavras. **Anais eletrônicos...** Lavras: UFLA, 2010. Disponível em: <<http://www.xiiebramem.ufla.br/>>. Acesso em: 14 ago. 2010.

VITAL, B. R.; HASELEIN, C. R. Qualidade de chapas de aglomerado produzidas com embaúba (*Cecropia sp.*) e bambu (*Bambusa vulgaris*). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 12, n. 2, p. 134-145, 1988.

VITAL, B. R.; HASELEIN, C. R.; DELLA LUCIA, R. M. Efeito da geometria das partículas nas propriedades dos painéis de madeira aglomerada de *Eucalyptus grandis* (Hill ex-Maiden). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 16, n. 1, p. 88-96, 1992.

ZHOW, D. A study of oriented structural board made from hybrid poplar. Physical and mechanical properties of OSB. **Holz Als Roh Und Werkstoff** v.48, n.7-8, p.293-296, 1990.

APÊNDICE

Apêndice 1 – Tabela para seleção de modelo para a AA2H em painéis constituídos por bambu e pinus

Quadrado médio do erro	R ²	R ² Ajustado	CP de Mallows	Variáveis Incluídas
21,5079	83,8599	82,2459	5,0	ABCD*
21,8342	83,2054	81,9765	4,62206	ABC
32,4343	74,4435	73,2265	24,3368	AC
33,2252	74,4436	72,5736	26,3364	ACD
33,5365	73,5749	72,3166	26,4892	CD
34,0993	73,7713	71,8521	28,0027	BCD
34,1763	72,4297	71,7885	27,3275	C
34,625	72,7172	71,4181	28,6149	BC
93,7876	26,1001	22,5811	144,146	AB
94,2802	27,4807	22,1744	142,724	ABD
117,177	7,67013	3,27347	189,821	AD
120,875	2,48916	0,221466	200,661	D
121,143	2,27273	0,0	203,729	B
121,143	2,27273	0,0	206,541	A
121,143	0,0	0,0	204,83	

* Modelo selecionado considerando o coeficiente de determinação ajustado e o menor CP de Mallows. Onde: A = %B²; B = %B; C = MEo; D = TU.

Apêndice 2 – Tabela para seleção de modelo para a AA2H em painéis constituídos por bambu e eucalipto

Quadrado médio do erro	R ²	R ² Ajustado	CP de Mallows	Variáveis Incluídas
39,8082	54,6346	50,098	5,0	ABCD*
44,0591	48,535	44,7693	8,37817	ABC
47,2474	44,8107	40,7725	11,662	BCD
47,4447	43,2286	40,5252	11,0569	CD
48,6012	43,2294	39,0754	13,0563	ACD
50,7576	40,7105	36,3722	15,2773	ABD
52,8016	36,8186	33,81	16,7089	AB
54,0096	35,3731	32,2956	17,9834	BC
56,8501	31,9742	28,7349	20,9803	BD
58,1258	28,7918	27,1358	21,7863	D
59,2132	29,1466	25,7726	23,4735	AD
60,9009	25,3921	23,657	24,784	B
69,3821	15,002	13,0253	33,9452	A
72,1105	11,6595	9,60511	36,8923	C
79,7728	0,0	0,0	45,1729	

* Modelo selecionado considerando o coeficiente de determinação ajustado e o menor CP de Mallows. Onde: A = %B²; B = %B; C = MEo; D = TU.

Apêndice 3 – Tabela para seleção de modelo para a AA24H em painéis constituídos por bambu e pinus

Quadrado médio do erro	R ²	R ² Ajustado	CP de Mallows	Variáveis Incluídas
33,602	76,6495	74,9409	3,37158	ABC*
34,125	76,8644	74,5508	5,0	ABCD
41,5694	70,4083	68,9991	12,1623	AC
42,5249	70,4488	68,2866	14,0921	ACD
44,0148	68,6675	67,1755	15,172	CD
44,5942	68,255	66,7434	15,885	BC
44,9756	67,2212	66,4589	15,6725	C
45,0571	68,6892	66,3982	17,1344	BCD
109,755	23,7295	18,1488	94,8668	ABD
110,193	21,5573	17,822	96,6224	AB
128,158	8,76923	4,4249	118,732	AD
134,091	2,27273	0,0	128,712	D
134,091	2,27273	0,0	131,298	B
134,091	2,27273	0,0	130,938	A
134,091	0,0	0,0	129,894	

* Modelo selecionado considerando o coeficiente de determinação ajustado e o menor CP de Mallows. Onde: A = %B²; B = %B; C = MEo; D = TU.

Apêndice 4 – Tabela para seleção de modelo para a AA24H em painéis constituídos por bambu e eucalipto

Quadrado médio do erro	R ²	R ² Ajustado	CP de Mallows	Variáveis Incluídas
59,1317	38,7028	32,573	5,0	ABCD*
63,0418	33,0157	28,1144	6,71115	ACD
65,8169	30,0671	24,9501	8,63526	ABC
71,1902	24,3578	18,823	12,3609	BCD
72,3295	23,1472	17,5238	13,1509	ABD
75,9412	17,3416	13,4054	14,9394	AD
75,9727	17,3073	13,3696	14,9618	AB
78,483	14,575	10,5071	16,7448	CD
78,8271	14,2004	10,1147	16,9892	AC
80,4434	10,3564	8,27162	17,4977	C
81,8411	10,9198	6,67791	19,13	BC
86,7527	3,32546	1,07722	22,0857	D
87,0564	2,98703	0,730917	22,3066	A
87,6974	2,27273	0,0	24,0333	B
87,6974	0,0	0,0	22,2558	

* Modelo selecionado considerando o coeficiente de determinação ajustado e o menor CP de Mallows. Onde: A = %B²; B = %B; C = MEo; D = TU.

Apêndice 5 – Tabela para seleção de modelo para a IE2H em painéis constituídos por bambu e pinus

Quadrado médio do erro	R ²	R ² Ajustado	CP de Mallows	Variáveis Incluídas
9,10994	53,4075	48,7482	5,0	ABCD*
10,6696	44,0662	39,9735	11,0195	ABC
10,7505	42,2677	39,5186	10,5636	CD
10,8441	43,1517	38,992	11,8047	BCD
11,0005	42,3316	38,112	12,5087	ACD
12,8054	31,2324	27,9578	20,0374	BC
14,4281	24,3631	18,8287	27,9348	ABD
14,4711	22,2872	18,5866	27,7169	AC
14,8209	18,5138	16,6188	28,9564	D
14,9045	19,9602	16,1488	29,7147	AB
15,0057	19,4166	15,5793	30,1814	BD
15,773	13,2792	11,2624	33,4504	B
16,0197	11,923	9,87475	34,6146	C
16,8015	7,62428	5,47601	38,3052	A
17,7749	0,0	0,0	42,8507	

* Modelo selecionado considerando o coeficiente de determinação ajustado e o menor CP de Mallows. Onde: A = %B²; B = %B; C = MEo; D = TU.

Apêndice 6 – Tabela para seleção de modelo para a IE2H em painéis constituídos por bambu e eucalipto

Quadrado médio do erro	R ²	R ² Ajustado	CP de Mallows	Variáveis Incluídas
23,1193	44,9863	39,485	5,0	ABCD*
24,0676	41,2979	37,0026	5,68185	ACD
25,2443	38,428	33,9227	7,76853	ABD
26,1225	34,732	31,624	8,4558	AD
26,9829	34,1873	29,3718	10,8519	BCD
28,7692	29,8305	24,6961	14,0197	ABC
29,3006	26,7913	23,3052	14,2294	BD
31,4013	21,5426	17,8066	18,0457	CD
32,0207	19,9952	16,1854	19,1709	AB
33,3619	16,644	12,6746	21,6075	AC
34,2859	12,2959	10,2562	22,769	C
34,7222	11,1798	9,1142	23,5805	D
36,9743	5,41867	3,2191	27,7693	A
38,2042	2,27273	0,0	30,7489	B
38,2042	0,0	0,0	29,7092	

* Modelo selecionado considerando o coeficiente de determinação ajustado e o menor CP de Mallows. Onde: A = %B²; B = %B; C = MEo; D = TU.

Apêndice 7 – Tabela para seleção de modelo para a IE24H em painéis constituídos por bambu e pinus

Quadrado médio do erro	R ²	R ² Ajustado	CP de Mallows	Variáveis Incluídas
11,8072	58,2338	54,0571	5,0	ABCD*
12,578	54,3949	51,0579	6,67656	ABC
13,0575	52,6563	49,1921	8,34159	BCD
14,1089	47,5965	45,1011	11,1874	BC
14,1377	48,7398	44,989	12,0925	ACD
14,3847	46,5721	44,0279	12,1685	CD
16,5891	38,3846	35,4506	20,0097	AC
21,1215	21,5503	17,8146	36,1321	AB
21,1493	19,5766	17,7063	36,0224	B
21,34	20,7387	16,9644	36,9094	BD
21,3476	18,8225	16,9346	36,7446	C
21,4285	22,3049	16,6199	37,4095	ABD
22,411	14,7787	12,7968	40,6174	A
22,4587	14,5974	12,6113	40,7911	D
25,6998	0,0	0,0	52,7711	

* Modelo selecionado considerando o coeficiente de determinação ajustado e o menor CP de Mallows. Onde: A = %B²; B = %B; C = MEo; D = TU.

Apêndice 8 – Tabela para seleção de modelo para a IE24H em painéis constituídos por bambu e eucalipto

Quadrado médio do erro	R ²	R ² Ajustado	CP de Mallows	Variáveis Incluídas
26,8796	56,5413	52,1954	5,0	ABCD*
27,8534	53,841	50,4635	5,48534	ACD
30,9673	48,6807	44,9256	10,235	ABC
32,5859	45,9983	42,0469	12,7039	BCD
35,1685	40,297	37,454	15,9515	AC
37,1803	38,3844	33,876	19,7118	ABD
37,8919	35,6736	32,6104	20,2069	AD
38,8681	34,0164	30,8743	21,7322	BC
42,2814	26,5129	24,8039	26,6386	C
42,6028	27,6762	24,2322	27,5678	CD
43,2384	26,5972	23,1018	28,561	AB
48,0177	16,5429	14,602	35,8151	A
52,3548	9,00487	6,88871	42,7532	B
56,1768	2,36197	0,0913167	48,8674	D
56,2282	0,0	0,0	49,0414	

* Modelo selecionado considerando o coeficiente de determinação ajustado e o menor CP de Mallows. Onde: A = %B²; B = %B; C = MEo; D = TU.

Apêndice 9 – Tabela para seleção de modelo para o MOR em painéis constituídos por bambu e pinus

Quadrado médio do erro	R ²	R ² Ajustado	CP de Mallows	Variáveis Incluídas
1,94956	65,013	63,1387	4,0	ABC*
2,04695	62,6092	61,2973	5,84738	BC
2,64274	51,7262	50,0324	23,2666	AC
2,69692	50,7365	49,0079	24,8508	AB
2,75925	48,7138	47,8296	26,0883	B
3,25189	39,557	38,5149	40,7446	A
5,05697	6,00599	4,3854	94,4461	C
5,28891	0,0	0,0	102,059	

* Modelo selecionado considerando o coeficiente de determinação ajustado e o menor CP de Mallows. Onde: A = %B²; B = %B; C = MEo.

Apêndice 10 – Tabela para seleção de modelo para o MOR em painéis constituídos por bambu e eucalipto

Quadrado médio do erro	R ²	R ² Ajustado	CP de Mallows	Variáveis Incluídas
0,908113	53,3967	51,7615	2,16407	BC*
0,921629	53,5329	51,0436	4,0	ABC
0,993667	49,0062	47,2169	7,45533	AC
1,27192	33,5815	32,4364	24,0445	B
1,29244	33,6735	31,3462	25,9336	AB
1,34183	29,9309	28,7229	28,4439	A
1,63476	14,6345	13,1627	46,8785	C
1,88255	0,0	0,0	62,5153	

* Modelo selecionado considerando o coeficiente de determinação ajustado e o menor CP de Mallows. Onde: A = %B²; B = %B; C = MEo.

Apêndice 11 – Tabela para seleção de modelo para o MOE em painéis constituídos por bambu e pinus

Quadrado médio do erro	R ²	R ² Ajustado	CP de Mallows	Variáveis Incluídas
56148,5	45,1165	43,1564	2,81659	BC*
56333,0	45,9195	42,9696	4,0	ABC
62011,5	39,3856	37,2208	8,64493	AC
73000,7	27,3698	26,0955	18,8651	B
73711,6	27,9491	25,3758	20,2759	AB
77364,0	23,0287	21,6783	23,28	A
90076,8	10,3803	8,80803	36,1434	C
98777,2	0,0	0,0	44,7002	

* Modelo selecionado considerando o coeficiente de determinação ajustado e o menor CP de Mallows. Onde: A = %B²; B = %B; C = MEo.

Apêndice 12 – Tabela para seleção de modelo para o MOE em painéis constituídos por bambu e eucalipto

Quadrado médio do erro	R ²	R ² Ajustado	CP de Mallows	Variáveis Incluídas
38308,8	48,1589	45,2788	4,0	ABC*
40897,7	43,6306	41,5808	6,71682	BC
41911,2	42,2336	40,1331	8,17195	AB
44556,5	37,471	36,3544	11,1329	B
48160,1	33,6208	31,207	17,1435	AC
51416,0	27,8447	26,5562	21,1601	A
68888,8	3,32394	1,59758	46,702	C
70007,3	0,0	0,0	48,1644	

* Modelo selecionado considerando o coeficiente de determinação ajustado e o menor CP de Mallows. Onde: A = %B²; B = %B; C = MEo.

Apêndice 13 – Tabela para seleção de modelo para o AP em painéis constituídos por bambu e pinus

Quadrado médio do erro	R ²	R ² Ajustado	CP de Mallows	Variáveis Incluídas
59,3413	73,0686	71,5442	4,0	ABC*
67,7416	68,6761	67,516	10,6442	BC
70,8076	67,2584	66,0457	13,4342	AB
77,3287	63,5809	62,9187	18,6715	B
99,0674	54,191	52,4944	39,1503	AC
105,027	50,536	49,6367	44,3432	A
208,538	1,78571	0,0	141,954	C
208,538	0,0	0,0	141,796	

* Modelo selecionado considerando o coeficiente de determinação ajustado e o menor CP de Mallows. Onde: A = %B²; B = %B; C = MEo.

Apêndice 14 – Tabela para seleção de modelo para o AP em painéis constituídos por bambu e eucalipto

Quadrado médio do erro	R ²	R ² Ajustado	CP de Mallows	Variáveis Incluídas
38,5596	40,095	37,7457	2,11956	BC*
39,2369	40,2379	36,6521	4,0	ABC
39,5772	38,514	36,1028	3,44228	AC
41,285	34,6032	33,3456	4,71424	B
41,7083	33,9326	32,6621	5,27527	A
41,8422	34,9951	32,4459	6,38634	AB
61,0522	3,29126	1,43148	30,9114	C
61,9389	0,0	0,0	31,665	

* Modelo selecionado considerando o coeficiente de determinação ajustado e o menor CP de Mallows. Onde: A = %B²; B = %B; C = MEo.

Apêndice 15 – Tabela para seleção de modelo para o LI em painéis constituídos por bambu e pinus

Quadrado médio do erro	R ²	R ² Ajustado	CP de Mallows	Variáveis Incluídas
0,00303401	85,5237	84,7481	4,0	ABC*
0,00327211	84,1088	83,5512	7,47313	AB
0,00430954	79,0705	78,3361	26,9634	BC
0,0046237	77,1508	76,7569	32,3894	B
0,00795602	61,3612	60,0055	95,4696	AC
0,00831712	58,8988	58,1902	102,995	A
0,0197783	2,26033	0,575162	322,094	C
0,0198928	0,0	0,0	328,838	

* Modelo selecionado considerando o coeficiente de determinação ajustado e o menor CP de Mallows. Onde: A = %B²; B = %B; C = MEo.

Apêndice 16 – Tabela para seleção de modelo para o LI em painéis constituídos por bambu e eucalipto

Quadrado médio do erro	R ²	R ² Ajustado	CP de Mallows	Variáveis Incluídas
0,00204455	35,3187	33,0492	2,35547	AB*
0,00206793	35,7267	32,2835	4,0	ABC
0,00240154	22,692	21,3591	11,3569	B
0,00243068	23,103	20,4049	12,9987	BC
0,00271276	12,6737	11,1681	20,0856	A
0,00275717	12,7742	9,7136	21,9981	AC
0,00305381	1,69492	0,0	30,9197	C
0,00305381	0,0	0,0	29,1279	

* Modelo selecionado considerando o coeficiente de determinação ajustado e o menor CP de Mallows. Onde: A = %B²; B = %B; C = MEo.