

WILLIAN GRUBERT

UTILIZAÇÃO DE PARTÍCULAS DE BAMBU (*Phyllostachys edulis* E *Phyllostachys bambusoides*) COMO REFORÇO EM COMPÓSITOS DE MADEIRA

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Tecnologia da Madeira, Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Aleksandro Bayestorff da Cunha
Coorientadora: Prof. Dr^a. Poliana D'Angelo Rios
Coorientador: Prof. Dr. Ugo Leandro Belini

**LAGES, SC
2016**

**Ficha catalográfica elaborada pelo(a) autor(a), com
auxílio do programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do CAV/UDESC**

Grubert, Willian

UTILIZAÇÃO DE PARTÍCULAS DE BAMBU (*Phyllostachys edulis* E *Phyllostachys bambusoides*) COMO REFORÇO EM COMPÓSITOS DE MADEIRA / Willian Grubert. Lages - 2016.

231 p.

Orientador: Alexsandro Bayestorff da Cunha
Co-orientadora: Polliana D'Angelo Rios
Co-orientador: Ugo Leandro Belini
Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Lages, 2016.

1. Painéis reconstituídos. 2. espécies não convencionais. 3. mossô. 4. madake. I. Bayestorff da Cunha, Alexsandro. II. D'Angelo Rios, Polliana. Leandro Belini, Ugo.III. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. IV. Título.

WILLIAN GRUBERT

UTILIZAÇÃO DE PARTÍCULAS DE BAMBU (*Phyllostachys edulis* E *Phyllostachys bambusoides*) COMO REFORÇO EM COMPÓSITOS DE MADEIRA.

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Florestal.

Banca Examinadora:

Orientador:

Prof. Dr. Alessandro Bayestorff da Cunha
UDESC – Lages/SC

Membro:

Dra. Paula Gabriella Surdi
ESALQ – Piracicaba/SP

Membro:

Prof. Dr. Vinicius Resende Castro
UFV – Viçosa/MG

Lages, 28/07/2016

AGRADECIMENTOS

À UDESC pela oportunidade de pós-graduação com ensino de qualidade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa.

Ao meu professor orientador, Alexsandro, contribuindo com todo o conhecimento repassado, atenção, dedicação, apoio e paciência ao me orientar.

Aos professores coorientadores, Polliana e Ugo, pela chance da realização, além deste, vários outros projetos, pela atenção e conhecimento repassado.

Aos demais professores da pós-graduação que de alguma forma contribuíram para que tudo desse certo nesse caminho percorrido durante essa etapa. Em especial aos professores Marcio Navroski, Martha Brandt e demais professores pelos conhecimentos repassados.

Aos meus pais, Virta Maria e Armindo, minha namorada Caroline, meu irmão Daniel e cunhada Bruna, por todo apoio e suporte, inclusive na realização prática deste trabalho.

À empresa Bonet e ao Sr. Honda pela doação dos materiais utilizados neste estudo.

À empresa Sudati .mdf pela oportunidade de realização do ensaio de perfil de densidade, pelo auxílio de Geferson e Elen, à SENAI – Unidade Lages em especial ao Sr. Darcy, aos profissionais dos Serviços Gerais do CAV – UDESC

Aos colegas de pós-graduação pelo trabalho em conjunto: Giuliano, Angela, Rodolfo, Rodrigo, Caio, Ailton, Helena, Daniella, Bruna, Morgana.

Às colegas do curso de graduação em Engenharia Florestal Karine, Carolina e Rodrigo Buss, além do amigo Francisco pelo auxílio da parte prática do experimento.

RESUMO

W, GRUBERT. Utilização de partículas de bambu (*Phyllostachys edulis* e *Phyllostachys bambusoides*) como reforço em compósitos de madeira. 2016. 231 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Lages, SC. 2016.

O objetivo do estudo foi avaliar a viabilidade técnica da utilização das partículas de bambu (*Phyllostachys edulis* e *Phyllostachys bambusoides*), como reforço de painéis de madeira de *Pinus* spp. por meio das propriedades tecnológicas dos painéis aglomerados. A matéria-prima utilizada foi composta por varas de bambu, partículas *flake* de madeira *Pinus* spp., resina ureia formaldeído e emulsão de parafina. Foram produzidos 15 tratamentos, sendo 9 com painéis homogêneos em diferentes proporções de bambu e madeira (100/0%, 75/25%, 50/50%, 25/75% e 0/100%) e 6 com multicamadas alternando partículas de madeira e bambu nas camadas interna e externa (três camadas), além do *mix* entre as duas espécies de bambu. Foram produzidos 3 painéis por tratamento com densidade nominal de 700 kg/m³, 12% de resina e 1% de emulsão parafínica, o ciclo de prensagem composto por pressão específica de 40 kgf/cm², temperatura de 160°C por 8 minutos. Os ensaios foram desenvolvidos conforme procedimentos descritos nas normas ASTM D1037 (1993), DIN 52362 (1982) e NBR 14810 (2013). Os resultados encontrados para as propriedades físicas e mecânicas dos painéis foram avaliados

por meio de análises estatísticas convencionais além da comparação dos valores médios com normas nacional e internacionais que qualificam o produto. Os resultados demonstraram: (i) a densidade dos painéis diminuiu à medida que foram incorporadas partículas de *Pinus* spp.; (ii) a estabilidade dimensional dos painéis homogêneos a melhor combinação foi de 50% de partículas de ambas espécies de bambu com 50% partículas de madeira, para multicamadas as partículas de *Phyllostachys bambusoides* compõe as diferentes camadas apresentaram maior estabilidade dimensional; (iii) para as propriedades mecânicas foi evidenciada que os painéis homogêneos com 50% partículas de bambu e 50% partículas de madeira apresentaram melhores resultados, exceção a redução da tração perpendicular com a adição de partículas de bambu, para os multicamadas houve melhora quando o *Pinus* spp. compôs as camadas externas; (iv) a influência bambu nos painéis mostrou melhora até o acréscimo de 50% na composição dos painéis, com decréscimo com maior adição de bambu; (v) por fim, a melhor composição para painéis homogêneos é a mistura de 50% de partículas de *Phyllostachys bambusoides* e 50% de partículas de *Pinus* spp. e a espécie *Phyllostachys bambusoides* também se mostrou promissora nos painéis multicamada, principalmente compõe a camada interna.

Palavras-chave: Painéis reconstituídos, espécies não convencionais, mossô, madake.

ABSTRACT

W, GRUBERT. **Use of bamboo particles (*Phyllostachys edulis* and *Phyllostachys bambusoides*) as reinforcement in wood composite.** 2016. 231 p. Dissertation (Master in Forest Engineering) - University of the State of Santa Catarina. Graduate Program in Forest Engineering, Lages, SC, Brazil, 2016.

The objective of the study was to assess the technical feasibility of using bamboo particles (*Phyllostachys edulis* and *Phyllostachys bambusoides*) as reinforcement of *Pinus* spp. wood panels. Through tecnogical properties of particleboard panels. The raw material used was composed of bamboo poles, wood flake particles *Pinus* spp., Urea formaldehyde resin and paraffin emulsion. 15 treatments were produced, 9 panels homogeneous in different proportions bamboo and wood (100/0% 75/25% 50/50% 25/75% and 0/100%) and 6 with multilayer alternating particles wood and bamboo the inner and outer layers (three layers), and the mix of the two kinds of bamboo. 3 Panels were produced by treatment with a nominal density of 700 kg/m³, 12% resin and 1% paraffin emulsion, the pressing cycle comprises specific pressure of 40 kgf/cm² at 160°C for 8 minutes. The tests were developed according to the procedures described in ASTM D1037 (1993), DIN 52362 (1982) and NBR 14810 (2013). The results for physical and mechanical properties of the panels were assessed using standard statistical analysis and the comparison of the average values with national and international standards describing the product. The results showed: (i) the density decreased as panels particles were incorporated *Pinus* spp .; (ii) the dimensional stability of the panels homogeneous the best combination was 50% particles of both species of bamboo with 50% wood particles to particles multilayer *Phyllostachys bambusoides* composing the various layers showed higher dimensional

stability; (iii) the mechanical properties was observed that the panels homogeneous 50% particles of bamboo and 50% wood particles showed better results, except for the reduction of the perpendicular traction with the addition of bamboo particles for the multilayer was improved when the *Pinus* spp. composed the outer layers; (iv) the influence in bamboo panels showed improvement to the 50% increase in the composition of the panels, to decrease with increased addition of bamboo; (v) finally, the best composition for homogeneous panels is a mixture of 50% particle *Phyllostachys bambusoides* and 50% *Pinus* spp. particles. and *Phyllostachys bambusoides* species also proved promising in multilayer panels, mainly composing the inner layer.

Keywords: Reconstituted panels, unconventional species, Mosso, Madake.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Cadeia produtiva do setor de base florestal	40
Figura 2 - Fluxograma do processo de produção de painéis aglomerados / MDP.....	45
Figura 3 - Estruturas do bambu	50
Figura 4 - Seção do colmo e rizomas.	52
Figura 5 - Fluxograma das principais utilizações do bambu.	55
Figura 6 - Plantio de bambu Mossô em Frei Rogério/SC.	56
Figura 7 - Plantio de bambu Madake em Frei Rogério/SC.	58
Figura 8 - Localização dos municípios onde foram realizadas as coletas das matérias-primas.....	69
Figura 9 - Fluxograma das atividades desenvolvidas no estudo.	70
Figura 10 - Obtenção dos corpos de prova para densidade básica. ..	71
Figura 11 - Painel no processo de prensagem. A: Colchão a ser prensado. B: Painel pós prensagem quente.	77
Figura 12 - Confecção dos corpos de prova. A: <i>Layout</i> ; B: Corpos de prova.....	78
Figura 13 - Densidade básica no sentido longitudinal.....	86
Figura 14 - Composição química quantitativa do <i>Pinus</i> spp. e das espécies de bambu.	87
Figura 15 - Extrativos solúveis em etanol-tolueno, etanol e água quente/fria.....	93

Figura 16 - Características das partículas industriais de <i>Pinus</i> spp. e laboratoriais de bambu.	96
Figura 17 - Absorção de água em função da proporção de bambu.	117
Figura 18 - Absorção de água em função das espécies estudadas..	119
Figura 19 - Absorção de água em função da composição das camadas.	123
Figura 20 - Inchamento em espessura em função da proporção de bambu.	128
Figura 21 - Inchamento em espessura em função das espécies estudadas.	129
Figura 22 - Absorção de água em função da composição das camadas.	134
Figura 23 - Taxa de não retorno em espessura em função da proporção de bambu.	138
Figura 24 - Taxa de não retorno em espessura em função das espécies estudadas.	139
Figura 25 - Taxa de não retorno em espessura em função da composição das camadas.	141
Figura 26 - Módulos de ruptura e elasticidade em função da proporção de bambu.	146
Figura 27 - Módulos de ruptura e elasticidade em função das espécies estudadas.	147
Figura 28 - Módulos de ruptura e elasticidade em função da composição das camadas.....	152

Figura 29 - Arranque de parafuso em função da proporção de bambu.	158
Figura 30 - Arranque de parafuso em função das espécies estudadas.	159
Figura 31 - Arranque de parafuso em função da composição das camadas.	163
Figura 32 - Tração perpendicular em função da proporção de bambu.	168
Figura 33 - Tração perpendicular em função das espécies estudadas.	170
Figura 34 - Tração perpendicular em função da composição das camadas.	175
Figura 35 - Gráficos de perfil de densidade dos painéis homogêneos.	217
Figura 36 - Gráficos de perfil de densidade dos painéis multicamadas	226

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classificação dos painéis de partículas.....	43
Tabela 2. Normas utilizadas para análise da composição química das espécies	74
Tabela 3. Plano experimental.....	75
Tabela 4. Normas dos ensaios realizados.....	79
Tabela 5. Valores médios da densidade básica.	83
Tabela 6. Valores médios da literatura para densidade básica.	84
Tabela 7. Valores médios da literatura para composição química.	88
Tabela 8. Valores médios da geometria das partículas.....	96
Tabela 9. Valores médios de densidade e razão de compactação dos painéis homogêneos.	99
Tabela 10. Valores médios de densidade e razão de compactação dos painéis multicamadas.	102
Tabela 11. Valores médios do perfil de densidade dos painéis homogêneos.....	105
Tabela 12. Valores médios do perfil de densidade dos painéis multicamadas.....	107
Tabela 13. Valores médios de espessura e teor de umidade dos painéis homogêneos.....	109
Tabela 14. Valores médios de espessura e teor de umidade dos painéis multicamadas.....	112

Tabela 15. Valores médios de absorção de água dos painéis homogêneos.....	115
Tabela 16. Valores médios da literatura de absorção de água para painéis homogêneos.	119
Tabela 17. Valores médios de absorção de água dos painéis multicamadas.....	121
Tabela 18. Valores médios da literatura de absorção de água para painéis multicamadas.	123
Tabela 19. Valores médios de inchamento em espessura dos painéis homogêneos.....	125
Tabela 20. Valores médios da literatura de inchamento em espessura para painéis homogêneos.	130
Tabela 21. Valores médios de inchamento em espessura dos painéis multicamadas.....	132
Tabela 22. Valores médios da literatura para inchamento em espessura dos painéis multicamadas.....	134
Tabela 23. Valores médios de taxa de não retorno em espessura dos painéis homogêneos.	136
Tabela 24. Valores médios de taxa de não retorno em espessura dos painéis multicamadas.	140
Tabela 25. Valores médios de módulo de ruptura e elasticidade dos painéis homogêneos.	142
Tabela 26. Valores médios da literatura para módulos de ruptura e elasticidades dos painéis homogêneos.	148
Tabela 27. Valores médios de módulos de ruptura e elasticidade dos painéis multicamadas.	150

Tabela 28. Valores médios da literatura dos módulos de ruptura e elasticidade dos painéis multicamadas.....	154
Tabela 29. Valores médios de arranque de parafuso de topo e superfície dos painéis homogêneos.....	155
Tabela 30. Valores médios da literatura de arranque de parafuso para painéis homogêneos.....	160
Tabela 31. Valores médios de arrancamento de parafuso de topo e superfície dos painéis multicamadas.....	161
Tabela 32. Valores médios da literatura de arranque de parafuso para painéis multicamadas.....	164
Tabela 33. Valores médios de tração perpendicular dos painéis homogêneos.....	166
Tabela 34. Valores médios da literatura de tração perpendicular para painéis homogêneos.....	171
Tabela 35. Valores médios de tração perpendicular dos painéis multicamadas.....	173
Tabela 36. Valores médios da literatura de tração perpendicular para painéis multicamadas.....	176
Tabela 37. Resumo das propriedades tecnológicas dos painéis.....	179
Tabela 38. Matriz de correlação simples – Propriedades físicas	215
Tabela 39. Matriz de correlação simples – Propriedades mecânicas...	216

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA	Absorção de Água
ABIPA	Associação Brasileira de Indústrias de Painéis de Madeira
ABRAF	Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas
ANSI	American National Standards Institute
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
CSA	<i>Canadian Standards Association</i>
DIN	<i>Normen Für Holzfaserplatten Spanplatten Sperrholz</i>
EN	<i>European Standard</i>
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>
FF	Fenol Formaldeído
HDF	<i>High Density Fiberboard</i>
IE	Inchamento em Espessura
MDF	<i>Medium Density Fiberboard</i>
MDP	<i>Medium Density Particleboard</i>
MF	Melamina Formaldeído
MOE	Módulo de Elasticidade
MOR	Módulo de Ruptura
MPa	Mega Pascal
NBR	Normas Brasileiras
RC	Razão de Compactação
TAPPI	<i>Technical Association of the Pulp and Paper Industry</i>
TNRE	Taxa de Não Retorno em Espessura
TU	Teor de Umidade
UF	Ureia Formaldeído

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	35
1.1 OBJETIVOS.....	38
1.1.1 Objetivo geral.....	38
1.1.2 Objetivos específicos	38
2 REVISÃO DE LITERATURA	39
2.1 PANORAMA PRODUTIVO DO SETOR DE BASE FLORESTAL	39
2.2 PAINÉIS DE MADEIRA	41
2.3 PAINÉIS RECONSTITUÍDOS DE MADEIRA	42
2.3.1 Processo produtivo dos painéis de madeira aglomerada 44	
2.3.2 Matéria-prima	47
2.3.3 Bambu	48
2.4 VARIÁVEIS QUE INFLUENCIAM NAS PROPRIEDADES DOS PAINÉIS	59
2.4.1 Fatores referentes a matéria-prima.....	59
2.4.2 Fatores referentes ao processo.....	62
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	68
3.1 MATÉRIA-PRIMA	68
3.2 DENSIDADE BÁSICA	73
3.3 COMPOSIÇÃO QUÍMICA	74
3.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	75
3.5 PRODUÇÃO DOS PAINÉIS	76
3.6 AVALIAÇÃO TECNOLÓGICA DOS PAINÉIS	77
3.6.1 Razão de compactação.....	79
3.6.2 Perfil densitômetro de raios X	80

3.6.3 Taxa de não retorno em espessura	80
3.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	80
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	83
 4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ESPÉCIES	83
 4.1.1 Densidade básica	83
 4.1.2 Composição química	87
 4.1.3 Geometria das partículas.....	95
 4.2 PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DOS PAINÉIS	98
 4.2.1 Densidade e razão de compactação	98
 4.2.2 Perfil de densidade.....	104
 4.2.3 Espessura e teor de umidade.....	108
 4.2.4 Absorção de água em 2 e 24 horas.....	115
 4.2.5 Inchamento em espessura em 2 e 24 horas	125
 4.2.6 Taxa de não retorno em espessura (TNRE).....	136
 4.2.7 Módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE)	142
 4.2.8 Arranque de parafuso.....	155
 4.2.9 Tração perpendicular	165
 4.3 RESUMO DAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS	177
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	179
6 RECOMENDAÇÕES	182
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	183
APÊNDICES.....	215

1. INTRODUÇÃO

O setor de base florestal engloba diversos tipos de empresas, investidores e empreendedores, que atuam na geração de materiais e maquinários para a atividade florestal, bem como, serviços especializados que vão desde a produção e plantio de mudas, colheita e transporte de madeira até sua transformação em bens e produtos finais (FAO, 2015).

De acordo com relatório anual da Indústria Brasileira de Árvores (IBA, 2015), os produtos industriais da atividade florestal incluem desde a celulose e diversos tipos de papel, painéis de madeira reconstituída, pisos laminados, painéis compensados, móveis e demais produtos sólidos da madeira, até o carvão vegetal e outros produtos com finalidades energéticas como briquetes e *pellets*.

Os principais produtos reconstituídos no Brasil são o MDF (*Medium Density Fiberboard*), o HDF (*Hard Density Fiberboard*), aglomerado/MDP (*Medium Density Particleboard*) e OSB (*Oriented Strand Board*). O risco de não suprir a demanda da matéria-prima madeira para produção desses painéis reconstituídos é eminente, já que para atender essa exigência, segundo Miskalo (2009), tendo em vista que as toras estão sendo utilizadas para processamento mecânico com idade cada vez menor, dando indícios de esgotamento das reservas florestais. Contudo, segundo Malone (1993), os painéis reconstituídos podem também ser produzidos a partir de resíduos do desdobro e processamento da madeira, além de resíduos e sobras de painéis compensados e lâminas de madeira seca, que são fontes lignocelulósicas utilizadas para fabricação desses produtos.

Neste cenário, conforme Morais (2011), o mercado globalizado exige a busca de novos materiais para confecção de painéis reconstituídos que possibilitem a diminuição de custos de produção, de modo a substituir com eficiência técnica e com menores impactos ambientais. Além disto, a busca por novas

matérias-primas que se tornem alternativa as principais espécies de *Pinus* sp. e *Eucalyptus* sp. se torna essencial para sustentar o mercado (MISKALO, 2009).

A madeira dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus* é matéria-prima de qualidade diferenciada em relação a outros materiais e com custo dentro dos padrões de mercado para os produtos de origem madeirável, como os painéis reconstituídos, então substituí-la, mesmo que parcialmente, é um desafio que poucos materiais são capazes de realizar com tamanha eficiência e qualidade.

Portanto, a procura por tecnologias que possibilitem o aproveitamento de novas matérias-primas para obtenção de produtos com qualidade diferenciada se torna cada vez mais importante, sendo assim, um meio potencial é utilizar o material fibroso de bambu na incorporação em painéis reconstituídos, atuando como reforço nestes compósitos de madeira.

O bambu é o mais importante produto florestal não-madeireiro, sendo o principal substituto da madeira e desempenhando papel cada vez mais importante na diminuição da pressão sobre os recursos florestais (MERA, ANTONIO e XU, 2014). É matéria-prima que entra como potencial de exploração e auxílio a suprir a demanda dentro deste mercado consumidor, que de acordo com Morais (2011) já tem ocorrido em países como China, Filipinas e Colômbia, uma vez que é um material lignocelulósico de propriedades com qualidade semelhante à madeira.

Nestes países, e também a Índia, esta planta já está inclusa em vários programas governamentais de fomento e pesquisas relacionados ao seu cultivo e aproveitamento industrial (CASTRO e SILVA, 2005). No Brasil, segundo Moizés (2007), a destinação do bambu se dá principalmente para produção de varas de pesca, mobílias com colmos de bambu, como brotos comestíveis e com destaque industrial na utilização para produção de celulose e papéis de fibra longa.

Em consequência dos fatores climáticos, as espécies de bambu do gênero *Phyllostachys* são as mais recomendadas como alternativa no sul do Brasil, pois se adaptaram muito bem ao clima da região (BERNDSEN, 2008). De acordo com Chung (2003), o gênero *Phyllostachys* é o de maior importância econômica na China, de onde é originária. Contudo, algumas espécies do gênero como o *Phyllostachys edulis* (Carrière) J. Houzeau e o *Phyllostachys bambusoides* Siebold & Zuccarini ainda necessitam de estudos técnico-científicos, principalmente a fim de verificar a viabilidade de utilização para suprir a demanda por matéria-prima e as potencialidades dos produtos gerados a partir destas espécies.

Estudos da associação entre partículas de bambu com partículas da madeira de *Pinus* spp. para produção de painéis do tipo aglomerado, já é uma realidade no Brasil, entretanto a definição do percentual mais adequado para esse consórcio ainda é pouco estudada (DE MELO *et al.*, 2015).

Diante do exposto, painéis aglomerados de *Pinus* com reforço de bambu podem ser vantajosos, no entanto, há a necessidade de estudos e pesquisas que apontem quais as melhores espécies de bambu, as proporções ideais de sua utilização e a estrutura de camadas apropriada para produção dos painéis aglomerados, os quais devem atender as normas de qualidade nacional e internacional.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar a viabilidade técnica da utilização das partículas de bambu, *Phyllostachys edulis* (Carrière) J. Houz e *Phyllostachys bambusoides* Siebold & Zuccarini, como reforço de compósitos de *Pinus* spp., por meio das propriedades tecnológicas dos painéis aglomerados.

1.1.2 Objetivos específicos

- Determinar a densidade básica e a composição química quantitativa das duas espécies de bambu e do *Pinus* spp., além de inferir sobre suas influências nas propriedades dos painéis;
- Produzir painéis aglomerados homogêneos e multicamadas com partículas das duas espécies de bambu na forma pura e na mistura com *Pinus* spp.;
- Avaliar os painéis produzidos por meio das propriedades físicas de densidade, razão de compactação, espessura, teor de umidade, perfil de densidade, absorção de água, inchamento em espessura e taxa de não retorno em espessura; e mecânicas: flexão estática, arrancamento de parafuso e tração perpendicular;
- Comparar os resultados obtidos nos ensaios dos painéis com os padrões exigidos pelas normas de qualidade;
- Identificar qual a melhor composição de espécies e de camadas para a produção.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 PANORAMA PRODUTIVO DO SETOR DE BASE FLORESTAL

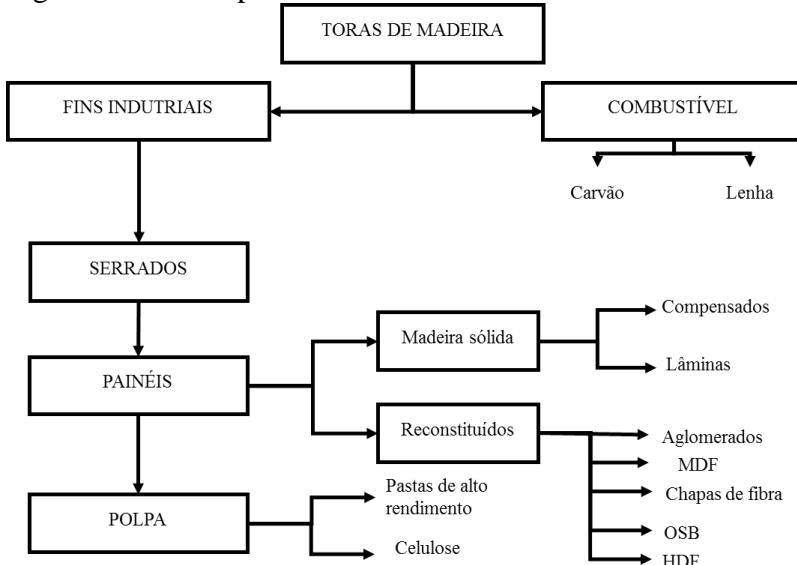
Florestas manejadas de forma sustentável são capazes de prover bens e serviços essenciais, que vão desde produtos fundamentais capazes de gerar empregos até os serviços ambientais indispensáveis para o bem-estar da humanidade, sendo então de vital importância para alcançar o desenvolvimento sustentável (FAO, 2015). Dados da mesma organização estimam que as áreas de floresta correspondam a 30,6% do território mundial, com 3.999 milhões de hectares, sendo que destes, 93% correspondem a florestas naturais – floresta primária e floresta secundária – e os outros 7% a florestas plantadas.

Segundo dados do IBA (2015), no Brasil, a área ocupada por florestas naturais equivale a 485,80 milhões de hectares, tais dados indicam que as florestas plantadas ocupam 7,74 milhões de hectares, equivalente a 0,9% do território nacional, contudo é responsável por 91% de toda a madeira produzida para fins industriais dentro do País – os demais 9% vêm de florestas nativas legalmente manejadas (IBA, 2015). Com relação à Santa Catarina, segundo dados da Associação Catarinense de Empresas Florestais (ACR, 2014), o estado possui área plantada de 646 mil hectares de florestas plantadas para fins industriais, notadamente de *Pinus* sp.

Buainain e Batalha (2007) explicam que o setor florestal é composto por uma cadeia produtiva que apresenta grande capacidade econômica, responsável por uma ampla gama de produtos e aplicações energéticas e industriais (Figura 1), suprindo a indústria de transformação da madeira e construção civil com energia e matéria-prima. O setor contribui com mais de 600 bilhões de dólares para o Produto Interno Bruto (PIB) de todo o mundo, sendo capaz de gerar mais de 50 milhões de

empregos (FAO, 2015); no Brasil esses números chegam a 11,60 bilhões de reais, contribuindo com 610 mil empregos (IBA, 2015).

Figura 1 - Cadeia produtiva do setor de base florestal



Fonte: Adaptado de Juvenal e Mattos (2002).

A cadeia produtiva de base florestal incorpora as atividades relativas à madeira e seus derivados (SELMANY, 1993), sendo basicamente dividida para (i) finalidades industriais, como celulose e papel, painéis de madeira e da madeira processada mecanicamente como serrados; e (ii) finalidade energética composta por produtos como carvão e lenha (POLZL *et al.*, 2003).

Do total de 7,74 milhões de hectares de árvores plantadas no Brasil, 34% pertencem a empresas do segmento de celulose e papel, 26,8% a proprietários independentes e com fomento que comercializam a madeira principalmente *in natura*, 15,2% a indústrias siderúrgicas, 10,2% estão vinculadas a investidores

financeiros, 6,8% ao setor de painéis de madeira reconstituída e o restante a serrados e outros produtos (IBA, 2015).

Sempre na procura pela evolução de processos e melhoria de seus produtos, as empresas do setor madeireiro, orientam-se na busca da sustentabilidade ambiental, e para isso, as certificações ambientais e o melhor aproveitamento da madeira na produção se tornam essenciais para atender a exigências dos clientes ao consumo de produtos menos impactantes ao meio ambiente (FREIRE *et al.*, 2015). Seguindo essa linha, Iwakiri (2005) explica que os painéis de madeira são um dos usos em que a madeira possui o melhor aproveitamento como matéria-prima, sendo utilizada de maneira praticamente completa no processo de produção.

2.2 PAINÉIS DE MADEIRA

Os painéis de madeira despontaram como produto a partir da carência de matéria-prima e da necessidade de redução do consumo de madeira de floresta nativa (FREIRE *et al.*, 2015), Iwakiri (2005) acrescenta também que os painéis de madeira surgiram para minimizar os defeitos da madeira maciça, como instabilidade de suas dimensões, anisotropia, defeitos naturais da madeira, também quanto a melhoramento das propriedades do produto por meio de variáveis processuais, além da diminuição de custos.

A formação de painéis de madeira acontece com a redução da madeira sólida em lâminas, sarrafos, partículas e fibras de madeira (IWAKIRI, 2005), que são recompostos por pressão, temperatura e aglutinadas por meio de ligação adesiva (BIAZUS *et al.*, 2010). Os painéis de madeira são produtos que substituem a madeira maciça em diferentes usos, como na fabricação de móveis, portas, pisos, rodapés (MATTOS *et al.*, 2008) e no setor de construção civil e embalagens (ABRAF, 2013).

Conforme Mattos *et al.*, (2008) os painéis de madeira podem ser divididos em dois grupos: os painéis de madeira processada mecanicamente e os painéis de madeira reconstituída. Os painéis de madeira processada são subdivididos em compensado laminado e compensado sarrafeado, enquanto os compostos reconstituídos podem ser: painéis de fibras (*Medium density fiberboard*, *Hard density fiberboard* e isolante) e painéis de partículas (aglomerado/MDP, *fineboard*, *waferboard* e *Oriented strand board*.) (IWAKIRI, 2005). Assim, o processo produtivo, as características tecnológicas e as finalidades de uso são individualizadas para cada tipo de painel (GORSKI, 2014).

2.3 PAINÉIS RECONSTITUÍDOS DE MADEIRA

Dentre os painéis de madeira reconstituída, destacam-se economicamente no mercado nacional e internacional, o aglomerado/MDP e o MDF, pois são os mais utilizados pela indústria de móveis e pela construção civil (FREIRE *et al.*, 2015).

O painel aglomerado/MDP é composto por matriz de adesivo e a fase de reforço com partículas de madeira, ou outro material lignocelulósico, que são combinadas com a aplicação de calor e pressão, se consolidando em um painel reconstituído (LAHR e CHRISTOFORO, 2013).

De acordo com Iwakiri *et al.*, (2002) os painéis de madeira aglomerada surgiram na Alemanha no início da década de 40, como forma de viabilizar a utilização de resíduos de madeira, face a dificuldade de obtenção de madeiras de boa qualidade para produção de painéis compensados, devido ao isolamento da Alemanha durante a 2^a guerra mundial. Após a guerra, em 1946, o processo de desenvolvimento de painéis de madeira aglomerada foi retomado nos Estados Unidos. A partir da década de 60, houve grande expansão em termos de instalações industriais e avanços tecnológicos e, em meados da

década de 70, iniciou-se o processo de desenvolvimento de painéis estruturais do tipo *waferboard* e a segunda geração como o OSB (IWAKIRI *et. al.*, 2002).

No Brasil a primeira fábrica de painéis de madeira aglomerada foi instalada em 1966 em Curitiba/PR (VALENÇA *et al.*, 1999). Entretanto, durante a década de 90 o nome aglomerado passou a ser substituído pelo MDP, devido ao aperfeiçoamento técnico que ocorreu na qualidade do produto (IWAKIRI, 2005; BIAZUS *et al.*, 2010).

Conforme o Belini (2012) autor o parque industrial brasileiro de painéis MDF e MDP está concentrado principalmente nas regiões sul e sudeste do Brasil. De acordo com Buainain e Batalha (2007) e Mattos *et al.* (2008), esse fato fica em conformidade com a maior parte dos plantios florestais comerciais dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus* no Brasil, além dos maiores pólos moveleiros nacionais que são os maiores consumidores destes dois tipos de painéis.

De acordo com Iwakiri (2014), Tabela 1, os painéis de partículas podem ser classificados ainda entre si, conforme as variáveis de densidade, tipos de partículas, a distribuição dessas partículas no colchão e o tipo de adesivo utilizado.

Tabela 1 - Classificação dos painéis de partículas

Densidade	Baixa até 590 kg/m ³	Média 600 a 790 kg/m ³	Alta maior que 800 kg/m ³	
Tipo de partícula	Aglomerado convencional	“ <i>flake</i> ” <i>flake</i> <i>Board</i>	“ <i>wafer</i> ” <i>wafer</i> <i>Board</i>	“ <i>strand</i> ” <i>strand</i> <i>Board</i>
Distribuição das partículas	Homogênea	Múltiplas camadas	Camadas graduadas	Partículas orientadas
Tipo de adesivo	Uso interno (UF – Ureia Formaldeído)		Uso externo (FF – Fenol Formaldeído)	

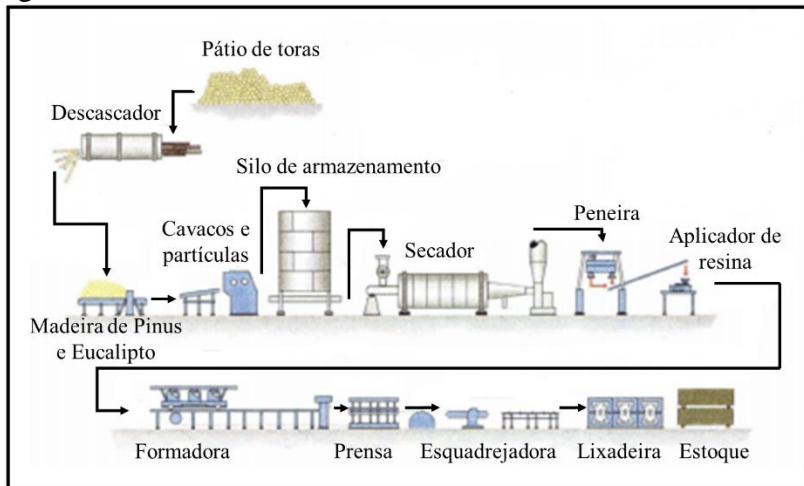
Fonte: Adaptado de Iwakiri (2014).

Pelas suas características, os painéis particulados são especialmente indicados para a indústria de móveis e marcenaria, principalmente para fabricação de móveis com linhas retas, que não exijam usinagens, entalhes ou cantos arredondados (TEIXEIRA, 2010).

2.3.1 Processo produtivo dos painéis de madeira aglomerada

A fabricação dos painéis de partículas envolve o processo apresentado na Figura 2, o qual inicia com o recebimento da madeira na forma de toras no pátio das empresas e finaliza com a expedição do produto final, que será direcionado para as unidades consumidoras como as fábricas de móveis. Galvão (2000) destaca que a tecnologia de fabricação destes painéis, possibilita o uso de sub-produtos da indústria madeireira como matéria-prima (resíduos) e toras de pequeno diâmetro que não são usadas em serrarias e laminadoras, o que agrega valor ao material. Os maiores custos de produção, além dos custos fixos e matéria-prima (madeira), são com energia elétrica e os insumos como resina e emulsão de parafina (IWAKIRI, 2014).

Figura 2 - Fluxograma do processo de produção de painéis aglomerados / MDP



Fonte: Adaptado de Iwakiri (2014).

O primeiro processo de transformação das toras no pátio das empresas envolve o descascamento, que é feito pelo atrito causado pela movimentação do tambor descascador e pelo contato tora a tora (DURATEX, 2009), e/ou em forma de resíduos da indústria madeireira (LARA PALMA, 2009).

Na sequência, é realizada a conversão das toras em cavacos por meio de picadores do tipo cilindro ou de disco, sendo finalizada desta forma a redução primária. Na redução secundária, que é feita pelo moinho de disco, os cavacos são reduzidos ao patamar de partículas. Entretanto, quando se utiliza os cepilhadores, ocorre a transformação direta das toras em partículas tipo *flake*, que são utilizadas geralmente na camada do miolo dos painéis aglomerados. Na utilização de resíduos madeireiros no processo, realiza-se somente a passagem do material pelo moinho e dependendo da granulometria, por nenhum processo de corte (BARROS FILHO, 2009).

As partículas produzidas nas etapas anteriores, são secas em tambores rotativos até umidade entre 2 e 8% (IWAKIRI (2005), e classificadas em peneiras vibratórias, giratórias ou classificadores a ar, com a finalidade de separar o material fino e distinguir as partículas da camada externa (CE) e a camada interna (CI) (LARA PALMA, 2009).

Posteriormente, acontece a aplicação do adesivo de forma independente nas partículas da camada interna e externa que é composto por aplicadores específicos de resina, emulsão parafínica, catalisador e outros aditivos, como retardantes de fogo e agentes preservantes do produto final, quando necessário (FRANÇA, 2015).

Como descrito por Pierre (2010), as partículas são transportadas até a formadora, dotada de uma esteira contínua, onde as partículas são depositadas para formação do colchão e posterior pré-prensagem e prensagem a quente para consolidação do painel. A pré-prensagem que tem como objetivo diminuir a altura do colchão e melhorar sua consistência, retirando o excesso de ar do colchão (BARROS FILHO, 2009).

Finalmente, o colchão é prensado à quente para consolidação do painel e, segundo Dias (2005), durante esta etapa é importante considerar o conjunto de variáveis do ciclo de prensagem ao qual as partículas são submetidas, que engloba fatores como a temperatura, pressão e o tempo de prensagem. Ainda de acordo com Pierre (2010), os painéis, após processo de prensagem, são resfriados, lixados, dimensionados e armazenados. Os painéis podem ser produzidos em diferentes espessuras que variam geralmente entre 6,0 a 40,0 mm, dependendo do produto desejado, sendo a espessura de 15 mm a de maior produção (IWAKIRI, 2014).

Os painéis podem ser comercializados sem revestimento (*in natura*) e revestidos. O revestimento pode ser aplicado em ambas as faces e apresentam-se em três diferentes tipos: (i) melamina BP que consiste em uma folha de papel especial

impregnada com resina melamínica e consolidada sob baixa pressão, (ii) *finish foil* (FF) que é uma folha de papel colada junto ao painel e (iii) revestimento com lâmina de madeira natural (LM) (BIAZUS *et al.*, 2010).

2.3.2 Matéria-prima

As indústrias de painéis aglomerado no Brasil consomem como matéria-prima principal madeira de florestas plantadas dos gêneros *Pinus* spp. e *Eucalyptus* spp. (IBA, 2015). De acordo com Pierre (2010), a indústria, atualmente, utiliza grande parte da madeira de produção em forma de toretes de pequenos diâmetros de diversas origens, desde plantios exclusivos para este fim, de toretes de desbastes, resíduos de exploração florestal, entre outros.

Afim de suprir a necessidade dessas indústrias, torna-se indispensável aumentar as áreas de plantios com as espécies florestais, e também buscar alternativas com outras espécies de rápido crescimento, que possam auxiliar na demanda com matéria-prima na forma qualitativa e quantitativa (IWAKIRI *et al.*, 2004). Nesse contexto algumas outras espécies podem ser utilizadas pelo setor de painéis de madeira, sendo então essencial a realização de pesquisas utilizando espécies não convencionais.

2.3.2.1 Gênero *Pinus*

As áreas plantadas de *Pinus* no Brasil ocupam 1,59 milhão de hectares, estando concentradas principalmente na região Sul do país, devido as condições edafoclimáticas e a localização dos principais centros processadores desse tipo de madeira (IBA, 2015).

A silvicultura do gênero *Pinus* spp. no Sul do Brasil foi iniciada nos anos de 1960 e 1970, com o suporte de incentivos fiscais proporcionados pelo governo para o desenvolvimento do país, privilegiando terras com menor potencial produtivo através

da concessão de recursos para essas áreas, denominadas de “Distritos Florestais” (VASQUES *et al.*, 2007).

Nesse período, as espécies de *Pinus* que se destacaram na silvicultura brasileira, segundo Shimizu (2005), foram *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, advindas dos Estados Unidos, e se adaptando muito bem as regiões Sul e Sudeste.

Em Santa Catarina, os povoamentos de *Pinus*, cuja madeira é de fibras longas, tem aplicação em diversos ramos da indústria como celulose, papel, painéis de madeira, lâminas, serrados entre outros produtos (CARPANEZZI *et al.*, 1988). Os mesmos autores ainda destacam o *Pinus elliottii* como sendo um importante produtor de resina.

2.3.2.2 Materiais / espécies florestais não convencionais

Mendes *et al.* (2010) citam que não só a madeira, mas qualquer material lignocelulósico pode ser empregado como matéria-prima para produção dos painéis de madeira aglomerada, desde que confira resistência mecânica adequada e apresente densidade pré-estabelecida. Diversas pesquisas expõe a utilização de madeira de várias espécies na produção do produto supracitado (ROWELL *et al.*, 2000).

Estudos também indicam a utilização de outras fontes lignocelulósicas, para confecção de painéis com viabilidade técnica, como bagaço de cana de açúcar (OKINO *et al.*, 1997; TEIXEIRA *et al.*, 1997; MENDES *et al.*, 2010; BELINI, 2012), aparas de papel reciclado (CALEGARI *et al.*, 2004), babaçu (LIMA *et al.*, 2006), palha e casca de arroz (MELO, 2009), plástico (MACIEL, 2001; MILAGRES, 2004), espiga de milho, casca de feijão (MENDES *et al.*, 2012), café (MENDES *et al.*, 2010), casca de coco, caule de mandioca (MENDES, 2008) e bambu (CALEGARI *et al.*, 2007; MOIZÉS, 2007; MISKALO, 2009; SOARES, 2011; MORAIS, 2011; MELO *et al.*, 2015).

2.3.3 Bambu

A história de utilização do bambu remete há China a mais de 4000-5000 anos atrás (YANG e CHUE, 1998) e, segundo Moizés (2007), tem acompanhado a evolução humana nas mais diversas atividades e funções, como moradia, uma enorme gama de objetos para uso doméstico, ferramentas, instrumentos musicais e inclusive na alimentação.

Do total de florestas do planeta, as áreas com bambu correspondem a cerca de 3% (SANTI, 2015). A China é o país centro de distribuição no mundo, detentor da maior abundância de espécies, com área de 5.38 milhões de hectares com florestas de bambu, o que corresponde a 25% de toda a área mundial (YUE, 2012). Entretanto, López (2003) salienta que o bambu possui distribuição natural desde os trópicos até as regiões temperadas do globo, com maior ocorrência nas zonas quentes e chuvosas das regiões tropicais e subtropicais dos continentes asiático, africano e sul-americano. Os bambus, de forma natural, somente não crescem na Europa e Antártida. A Ásia concentra 62% das espécies nativas, as Américas, 34% e a África e Oceania, 4% (LÓPEZ, 2003).

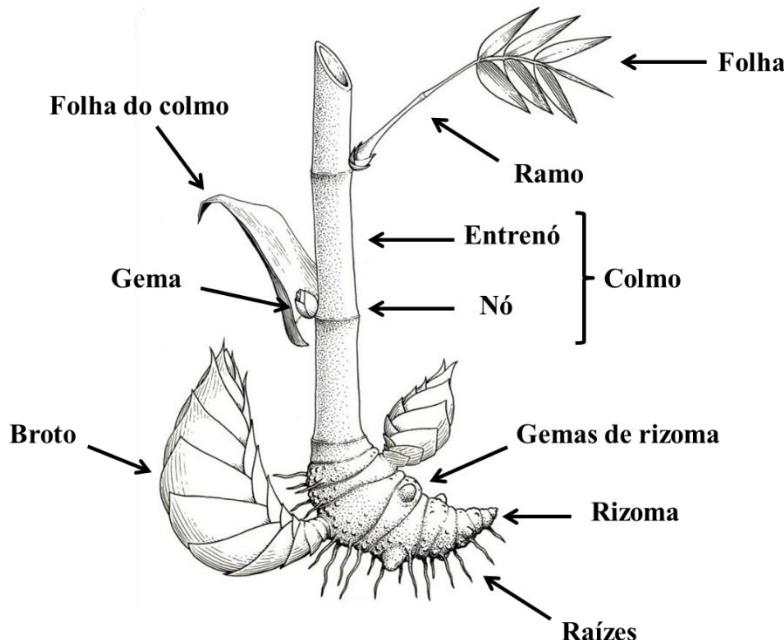
Cientificamente chama-se bambu todas as espécies de plantas pertencente à família das gramíneas, a qual pode ser subdividida em *Bambusaceae* e *Olyrae*, bambus lenhosos e herbáceos respectivamente; portanto, como não são espécies de árvores, não se deve caracterizá-lo como madeira (AMERICO, 2009). Em todo o mundo há aproximadamente 180 gêneros, e destes, cerca de cinco mil espécies de bambu (SOARES, 2011) que tem potencial pouco explorado (ARRUDA *et al.*, 2011).

De acordo com Londoño (2004) na América Latina são encontradas 320 espécies em 22 gêneros, o que equivale a 40% das espécies de bambu lenhosos de todo o mundo. No Brasil, deste total, ainda ocorrem cinco gêneros que são endêmicos, ou seja, com ocorrência exclusiva no país (GRECO e CROMBERG, 2011).

Os gêneros mais cultivados no Brasil são o *Bambusa*, o *Dendrocalamus* e o *Phyllostachys*, que possuem origem asiática, sendo trazidos pelos primeiros imigrantes e disseminados por todo o país em função da boa adaptação ao clima tropical brasileiro (TEIXEIRA, 2006).

Os bambus lenhosos, embora sejam gramíneas, possuem hábito arborescente (SILVA, 2005), e da mesma forma que as árvores, apresentam parte aérea. Contudo, diferente das árvores, a parte aérea é constituída por colmos, ramos, entrenós, nós, folhas, bainhas e os brotos; e outra subterrânea composta de rizomas, gemas e as raízes, conforme pode ser observado na Figura 3. (LONDOÑO, 2004).

Figura 3 - Estruturas do bambu



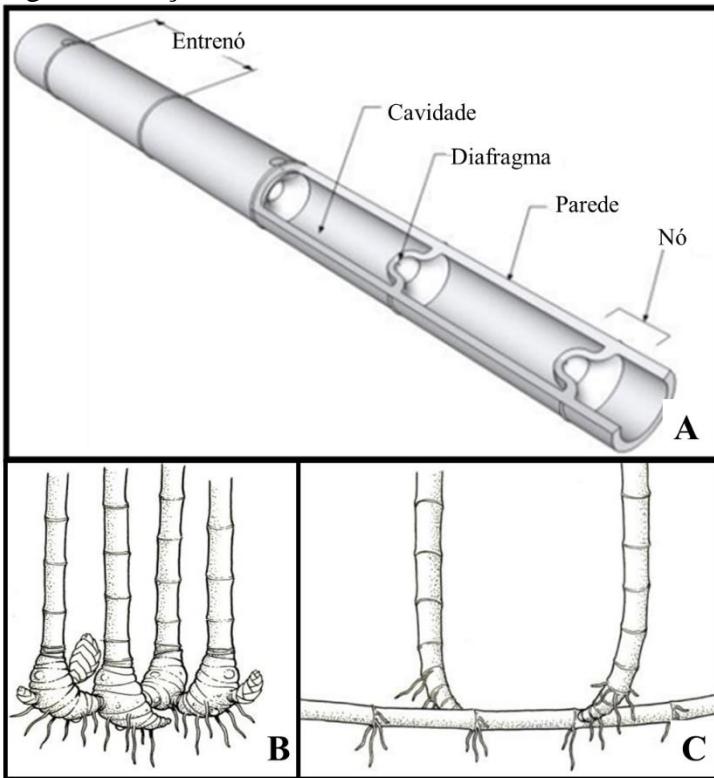
Fonte: Adaptado de Greco e Cromberg (2011).

Pereira e Beraldo (2008) explicam que os colmos apresentam forma ligeiramente cilíndrica, compostos por uma sequência de entrenós, geralmente ocos, que são separados uns dos outros por um diafragma (septo) que externamente apresentam os nós, de onde saem as folhas e os ramos do bambu (Figura 4A).

Dependendo da espécie de bambu, os colmos podem variar em altura, diâmetro, espessura de parede e forma de crescimento, porém os seus diâmetros do colmo não se alteram durante toda a sua vida. Esse diâmetro é maior na base, diminuindo à medida que vai se aproximando do topo, sem aumentar com o passar dos anos (PEREIRA e BERALDO, 2008).

O nascimento e o crescimento de novos colmos ocorrem pela ramificação dos rizomas, sendo proporcional à nutrição fornecida por eles e pelos colmos mais velhos; além disso, o rizoma armazena nutrientes e é o órgão responsável pela propagação horizontal da planta (SOUZA, 2004). Pereira e Beraldo (2008) complementam que as ramificações do rizoma ocorrem de duas formas distintas, dando origem a dois principais grupos de bambu: os entouceitantes (paquimorfo), em que o desenvolvimento dos colmos ocorre de forma agrupada formando touceiras (Figura 4B) e os alastrantes (leptomorfo, monopodial), em que os colmos têm crescimento separados uns dos outros (Figura 4C).

Figura 4 - Seção do colmo e rizomas



Fonte: Adaptado de Pozo (2006) e Greco e Cromberg (2011).

De forma geral, conforme Pereira e Beraldo (2008), o bambu se desenvolve bem em temperatura entre 8 e 36°C, abaixo disso, o crescimento do bambu é inibido, com exceção do gênero *Phyllostachys* que se desenvolve bem em climas frios e suportam bem temperaturas de até 18°C negativos. Os mesmos autores explicam que, apesar do bom crescimento na maioria dos tipos de solos, os melhores resultados são apresentados em solos férteis, soltos e bem drenados, com pH entre 5,0 e 6,5, e precipitação anual igual ou superior a 1200 mm anuais.

As propriedades do bambu são determinadas por sua estrutura anatômica, sendo que de forma geral, os entrenós são

compostos por células orientadas axialmente, e nos nós elas aparecem transversalmente (LIESE, 2006). Pereira e Beraldo (2008) explicam que a casca é formada por duas camadas de células epidermais que são cutinizadas e com ceras. O colmo do bambu possui células de parênquima, feixes vasculares e fibras; de maneira geral 50% é tecido parequimático, 40% são fibras e 10% são tecidos condutores (MOIZÈS, 2007), porém essa porcentagem dos constituintes anatômicos varia principalmente da altura em que o colmo se encontra ao longo do fuste. Os tecidos (vasos) condutores são distribuídos em gradiente de maior concentração quando próximos a casca e menor concentração quando no interior da parede (BILESKY, 2014). Além disso, suas fibras celulósicas têm comprimento médio de 1,6 a 3,5 mm e largura média de 15 a 20 micrômetros (SANTI, 2015).

As propriedades mecânicas do bambu são influenciadas principalmente pelo teor de fibras, responsável pela resistência, pela idade dos colmos, pela densidade básica e pelo teor de umidade (PEREIRA e BERALDO, 2008). Com relação a idade, o colmo quando está maduro de 3 a 5 anos de idade apresenta seu ápice em propriedades mecânicas (NOGUEIRA, 2008).

A densidade básica é afetada pela idade do bambu, posição da amostra no colmo, pelas condições de crescimento como: clima, solo, posição geográfica e pela espécie de bambu (LIMA, 2013).

Exposto por Liese (2006), a composição química dos colmos do bambu é constituída por celulose, hemicelulose, lignina e componentes como resinas, taninos e sais inorgânicos, essa constituição pode variar em função de alguns fatores como a espécie de bambu, das condições de crescimento, da idade e da parte do colmo analisada. A constituição química do bambu é semelhante as madeiras de alta densidade, mas com altos teores de extrato alcalino, cinzas e sílica (BERNDSEN, 2008).

Pereira (1997) também salienta que quando comparado a madeira o bambu possui um crescimento muito mais rápido, sem

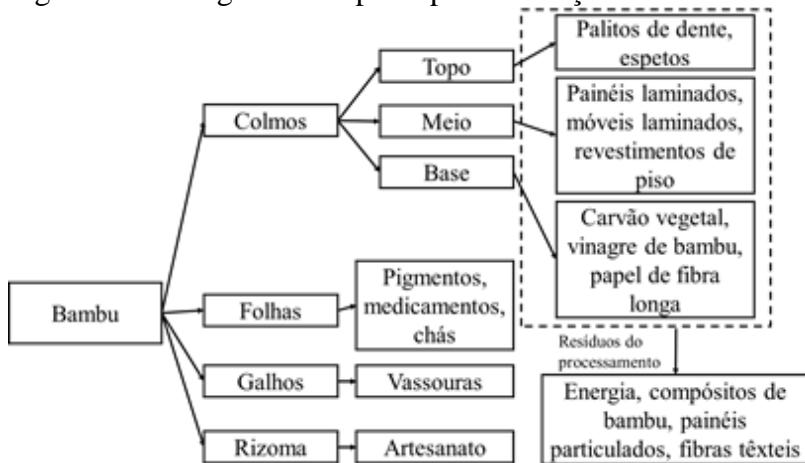
a necessidade de replantios para produção de colmos, o que facilita sua implementação e exploração a campo da espécie.

De forma geral, a utilização mundial do bambu segue de dois modos distintos: a primeira de forma convencional, com o bambu *in natura* que vai desde a fabricação de utensílios domésticos até na construção civil, na Ásia existe uma intensa produção de móveis e artesanatos de bambu destinado ao mercado interno e de exportação; o segundo modo é com o uso do bambu processado, ou industrializado, em que elementos fibrosos são utilizados para transformação em novas formas geométricas, assim adquirindo aparência e características distintas do bambu em forma *in natura* (XIAO *et al.*, 2008).

Possui destaque como material alternativo para utilização em construções diversas, materiais da engenharia, condução de água, compósitos vegetais, placas de compensado, sarrafos e de importância ambiental em reflorestamentos (PEREIRA, 1997), na Figura 5 encontra-se em destaque as utilizações mais comuns do bambu.

O tipo de aproveitamento do bambu depende intensamente da idade dos colmos existentes, compreendendo desde seu uso como broto comestível, quando o colmo jovem com apenas algumas semanas de vida, até os usos estruturais, quando o colmo já está maduro, com 3 anos de idade ou mais (PEREIRA e BERALDO, 2008).

Figura 5 - Fluxograma das principais utilizações do bambu



Fonte: Adaptado de Yue (2012).

China e Índia dominam o mercado mundial de bambu, a vasta indústria chinesa é responsável por movimentar incríveis 30 bilhões de dólares anuais, empregando 7,75 milhões de pessoas, além do bambu ter restaurado 3 milhões de hectares de terras degradadas no país (DRIESSEN e DEVLIN, 2015).

Apesar das potencialidades, a exploração do bambu no Brasil ainda se restringe ao uso convencional, como usos para confecções de balaios, varas de pesca, tutores na agricultura, mobílias e construções provisórias. A transformação industrial no Brasil ocorre na forma de produção de papel cartão duplex com a espécie *Bambusa vulgaris* no nordeste do país (CASTRO e SILVA, 2005), a empresa produz anualmente cerca de 150 mil toneladas de papel a base de fibra de bambu (KLEINE e FOELKEL, 2012).

No entanto, os compósitos formados por partículas de bambu apresentam características físicas e mecânicas de boa performance, dando origem a um produto com qualidades em isolamento térmico e resistência a impactos, aliado à sua fonte renovável e de rápido crescimento (BERALDO *et al.*, 1998).

2.3.3.1 *Phyllostachys edulis* (Carrière) J. Houzeau

Nguyen, (2006) explica que o nome *Phyllostachys edulis* (Figura 6) vem sendo usado para a definição da espécie desde o ano de 2006. É conhecido popularmente como bambu Mossô ou Mosó (GRECO e CROMBERG, 2011). A altura total pode chegar a 20 m ou mais, com colmos com 20 cm de diâmetro, entrenós com 40 cm de comprimento e parede com 1 cm de espessura (ZHENGPING e STAPLETON, 2006). Sobre as cores da espécie, os mesmos autores explicam que os colmos possuem cor amarelado esverdeado, com as bainhas do colmo com coloração amarelo amarronzado.

Figura 6 - Plantio de bambu Mossô em Frei Rogério/SC



Fonte: O próprio autor, 2016.

O Mossô é um bambu leptomorfo (rizoma do tipo alastrante), com fuste ereto e colmos arredondados; cada nó da parte superior possui dois ramos, um grande e um menor (TRAN, 2010). O *Phyllostachys edulis* é o bambu de maior importância na China e é a espécie de maior valor econômico

naquele país, possui características únicas como colmos versáteis e brotos saborosos (ZHENGPING e STAPLETON, 2006). É largamente cultivada com a maior área de plantio, com cobertura de mais de 3 milhões de hectares ou 60% de toda cobertura chinesa de bambu (HAN *et al.*, 2009).

De acordo com Greco e Cromberg (2011) a temperatura mínima que a espécie resiste pode chegar a 18°C negativos e requer precipitação de 1200 a 1800 mm. O bambu Mossô tem uma velocidade de crescimento bastante notável, podendo chegar a mais de 10 metros de altura dentro do curto período de dois a quatro meses iniciais. Austin, Levy e Ueda (1977) também relatam que a produtividade pode variar de 500 a 1500 colmos por hectare/ano. Além destas características marcantes, a fase vegetativa pode durar até 100 anos ou mais antes da floração e que as plantas morrem após a floração (FAN *et al.*, 2013).

As principais utilizações do *Phyllostachys edulis* são em construções, para moveleira, na produção de laminados, como alimentação através de seus brotos e como paisagismo (GRECO e CROMBERG, 2008).

2.3.3.2 *Phyllostachys bambusoides* Siebold & Zuccarini

Chamado comumente de bambu Madake (Figura 7), a espécie é do tipo leptormorfo (alastrante) e também é originária da China, porém extensamente cultivada no Japão desde 1866; no Brasil é um dos bambus alastrantes mais plantados (GRECO e CROMBERG, 2008). A espécie foi trazida ao país pelos imigrantes japoneses no início do século XX, estando concentrada no interior do estado de São Paulo e na região Sul, onde instalaram suas colônias (MANHÃES, 2008).

Figura 7 - Plantio de bambu Madake em Frei Rogério/SC



Fonte: O próprio autor, 2016.

Greco e Cromberg (2008) também ressaltam que este bambu se adapta muito bem em regiões de clima frio e com ocorrência de geadas, podendo resistir a temperaturas extremas de até 15°C negativos. A espécie possui altura máxima que varia de 5 a 12 metros, colmos que possuem de 2 a 8 cm de diâmetro, com entrenós alongados de 15 a 30 cm (ZHENGPING e STAPLETON, 2006).

Em termos de produção, Isagi *et al.* (1993) constataram produtividade total de biomasssa em torno de 131 toneladas/hectare para a espécie, e conforme Austin, Levy e Ueda (1977), a produção de colmos varia de 1000 a 3700 colmos/hectare/ano. O crescimento do bambu Madake medido diariamente na região de Kioto no Japão por Ueda (1956) citado por Hidalgo Lopes (1974) chegou a 1,20 m em 24 horas.

2.4 VARIÁVEIS QUE INFLUENCIAM NAS PROPRIEDADES DOS PAINÉIS

Diversos autores, como Moslemi (1974), Maloney (1993) e Mendes (2001), relatam que para a produção de painéis reconstituídos existem diversas variáveis que interagem entre si e tem influência direta na qualidade do produto final, os fatores de maior importância no processo produtivo são os relativos à matéria-prima: espécie utilizada, densidade, composição química; e os relativos ao processo de fabricação: densidade dos painéis, razão de compactação, estrutura dos painéis, adesivo, emulsão de parafina, geometria das partículas, teor de umidade das partículas e o ciclo de prensagem.

2.4.1 Fatores referentes à matéria-prima

2.4.1.1 Espécie

A espécie utilizada na fabricação dos painéis aglomerados é um dos fatores de maior importância e influência, é por meio de suas características que as demais variáveis são determinadas, originando produtos com propriedades distintas (MENDES, 2001). Iwakiri (2005) cita que parâmetros como densidade, colagem, dureza, pH, extractivos e tipos de fibras variam de acordo com cada espécie, afetando de forma significativa a qualidade dos painéis.

Marra (1992) também destaca que a espécie é fator importante para a base de formulação do adesivo, visto que, os extractivos e a variação do pH possuem influência relevante no momento de cura da resina e colagem do painel. Maloney (1993) cita que a alta acidez pode resultar também na pré-cura do adesivo, prejudicando as propriedades do painel.

2.4.1.2 Densidade básica

Na caracterização da qualidade da madeira e outros materiais como o bambu, a determinação da densidade e principalmente de sua variação no sentido base-topo, é fundamental como subsídio ao entendimento de seu desempenho, que conforme Brasil *et al.* (1982), pode ser utilizada como índice seguro para avaliar o tipo de material produzido face às suas correlações com as diferentes propriedades tecnológicas.

Maloney (1993) afirma que a densidade básica da espécie é a variável de maior importância, sendo grande responsável pelas propriedades finais dos painéis. De acordo com Foelkel *et al.* (1972), a densidade básica é uma característica complexa resultante da combinação de diversos fatores como espessura das fibras ou traqueoides, número e diâmetro dos vasos, bem como a porcentagem de parênquima (KLOCK *et al.*, 2005), no entanto, segundo Shimoyama e Barrichello (1991), é um parâmetro de fácil determinação para avaliação da qualidade da matéria-prima.

Iwakiri (2005), delimita a baixa densidade como um dos requisitos principais para uma espécie estar adequada para produção painéis aglomerados de média densidade, tendo em vista que a menor densidade possibilita a produção de painéis dentro de um intervalo de densidade considerado adequado e proporciona propriedades superiores a espécies com alta densidade. Segundo o mesmo autor, especificamente, menores massas específicas proporcionam maior volume de material e, consequentemente, maior compactação e resistência mecânica.

Diversos autores como Moslemi (1974), Maloney (1993), Bianche *et al.* (2012), explicam que a mistura entre espécies de diferentes massas específicas é uma técnica possível de ser utilizada com resultado final satisfatório, permitindo o uso de espécies com densidade mais elevada em associação com espécies de baixa densidade. A mistura de espécies pode

representar uma saída para o aproveitamento de madeiras tropicais, de maiores e menores densidades. (BIANCHE *et al.*, 2012).

A densidade básica também tem influência sobre a razão de compactação, visto que a razão de compactação é definida como o quociente entre a densidade do painel e a densidade da matéria-prima, com isso o mais indicado para produção de painéis aglomerados de média densidade são espécies com densidade básica até 550 kg/m³ (MALONEY, 1993). Conforme o mesmo autor, densidade básica dentro deste limite permite que a razão de compactação permaneça entre 1,3 a 1,6, considerado o mais indicado.

Alta razão de compactação desfavorece a estabilidade dimensional dos painéis, em virtude da maior quantidade de partículas sofrendo compressão, com isso a água causa liberação dessas forças, promovendo maiores inchamento em espessura e absorção de água (MALONEY, 1993). Kelly (1977) expõe que a elevada razão de compactação também resulta em maior contato entre as partículas e entre partículas e adesivo. Contudo Hillig (2000) destaca que as altas razões de compactação precisam de maior esforço no processo de prensagem, causando menor taxa de liberação de água evaporada no processo da prensagem a quente e consumo excessivo de matéria-prima.

Painéis com baixa razão de compactação necessitam alteração em outras variáveis do processo para apresentarem propriedades aceitáveis, entre essas alterações, por exemplo, tem-se o aumento do teor de resina que ocasiona aumento do custo de produção (MENDES, 2001). Essa relação pode ser modificada utilizando espécies de menor densidade para a mesma densidade do painel, ou, para a mesma espécie, aumentando-se a densidade do painel (MOSLEMI, 1974).

2.4.1.3 Composição química

A caracterização química do material lignocelulósico é uma das maneiras de atestar a respeito de suas potencialidades, visto que, segundo Klock *et al.* (2005), a química afeta de forma direta na utilização como matéria-prima pela indústria e na qualidade dos painéis de partículas.

Lima (2006) explica que a composição química da matéria-prima tem influência principalmente no processo de cura e colagem da resina. Dentre os componentes da madeira e do bambu, a quantidade e o tipo de extrativos presentes podem acarretar grande interferência nas reações de polimerização do adesivo e também na reação entre o adesivo e os extrativos. Outro composto de importância é a lignina que, de acordo com Joseleau *et al.* (2004), em altos teores no material proporciona os melhores resultados, visto que a lignina atua como um adesivo natural no momento da consolidação do painel.

Apesar da influência, o grau de interferência da composição química ainda não é bem definido na produção de painéis de partículas, estando relacionada, além da colagem, também em menor grau a higroscopicidade da madeira e do painel (HILLIG, 2000), isso pode acontecer principalmente durante o processo de secagem, que em grande concentração acaba bloqueando o contato do adesivo com a madeira (MENDES e ALBUQUERQUE, 2000).

2.4.2 Fatores referentes ao processo

2.4.2.1 Densidade do painel

A densidade dos painéis é a variável processual de maior influência sobre as propriedades físicas e mecânicas e consequente qualidade do produto (TRIANOSKI, 2010). De maneira geral, Maloney (1993) explica que a resistência mecânica é aumentada e a estabilidade dimensional é diminuída

em painéis com maior densidade, tal comportamento ocorre devido a maior quantidade de partículas na mesma dimensão de painel, o que resulta em maior densificação durante a etapa de prensagem. O mesmo autor ressalta que painéis mais densos dificultam o processo de usinagem, tomado então como produto de menor aceitação frente ao mercado consumidor habituado a painéis de menor densidade.

Kelly (1977) explica que a maior densidade aumenta o inchamento em espessura, principalmente pela maior taxa de liberação de tensões de compressão impostas durante a prensagem. Zhang *et al.* (1998) e Wu (1999), em seus estudos avaliando a o aumento da densidade dos painéis, que o acréscimo de densidade elevou os valores médios do ensaio de flexão estática e tração perpendicular.

2.4.2.2 Composição dos painéis

A deposição das partículas no processo de formação do colchão forma a estrutura do painel, podendo ser homogênea ou multicamadas que podem conter partículas de diversas formas e dimensões (IWAKIRI, 2005).

Os painéis multicamada possuem propriedades tecnológicas superiores aos painéis homogêneos, isso se deve pelo fato dessa estruturação de camadas possibilitar o aumento das propriedades de resistência, proporcionado pelas partículas de maior granulometria na camada interna e com as partículas mais finas presentes nas camadas externas dando melhor acabamento (BOWYER *et al.*, 2003).

2.4.2.3 Resina e parafina

Os principais adesivos termofixos utilizados pela indústria de painéis de madeira são a ureia formaldeído (UF), melamina formaldeído (MF), fenol formaldeído (FF) e a resorcina formaldeído (IWAKIRI, 2005).

Cerca de 90% de todos os painéis aglomerados fabricados no mundo contem em sua composição a ureia formaldeído, que é uma resina aquosa de coloração branca e menor custo quando comparada a outras resinas, entretanto, não resiste a umidade excessiva, o que limita seu emprego a ambientes internos (MARRA, 1992). Iwakiri (2005) descreve a resina melamina formaldeído como de coloração branca leitosa, e com algumas vantagens, como: maior resistência a umidade quando comparada a ureia formaldeído e cura mais rápida em relação a fenol formaldeído, entretanto o custo pode chegar de 3 a 4 vezes maior que a UF. A resina a base fenólica apresenta coloração marrom avermelhada, possui maior resistência a umidade, sendo classificada para usos externos, porém com custo até 2,5 vezes maior que a UF. A resorcina formaldeído tem como característica a cor marrom, muito mais reativa em relação a FF, mas com elevado custo quando comparada as outras resinas, sendo então utilizada em associação com a FF (IWAKIRI, 2005).

Nesse contexto, Kelly (1977) e Moslemi (1974) afirmam que o efeito do tipo e a quantidade de adesivo são variáveis de extrema importância dentro do processo industrial, de forma geral, com o aumento do teor de resina acarreta aumento nas propriedades de resistência mecânica e estabilidade dimensional dos painéis. De acordo com Iwakiri (2014), o teor de resina do painel aglomerado varia entre 6 e 12%, com base no peso seco das partículas (PSP).

Maloney (1993) e Moslemi (1974) também afirmam que a quantidade de resina está diretamente associada à área superficial das partículas, portanto partículas menores da camada externa requerem quantidades maiores de resina em comparação às partículas maiores da camada interna do painel.

A emulsão de parafina é adicionada com a finalidade de redução da higroscopicidade da madeira e melhorar a estabilidade dimensional dos painéis (IWAKIRI, 2005). Para que isso aconteça a parafina atua como agente inibidor das

tensões geradas no momento de prensagem do painel (MATOS, 1988).

Industrialmente a proporção de emulsão parafínica não ultrapassa 1,5%, a aplicação de teores mais elevados não proporciona eficiência na redução da absorção de água e inchamento em espessura (CLOUTIER, 1998).

2.4.2.4 Geometria das partículas

Kelly (1977) ressalta que a geometria das partículas é um parâmetro de importância no processo de confecção de painéis de madeira aglomerada, segundo o pesquisador, o comprimento, largura e espessura das partículas são controladas no processo industrial visando a homogeneidade das dimensões, que influenciam na área superficial das partículas, no consumo de resina, na flexibilidade das partículas e na área de contato de entre partículas.

Alguns índices podem ser determinados relacionando as dimensões das partículas, sendo eles, o índice de esbeltez, a razão de planicidade e a área superficial específica (MALONEY *et al.*, 1976). As diversas propriedades dos painéis são afetadas de diferentes formas pela geometria das partículas, de acordo com Alberto (1992), o índice de esbeltez é um parâmetro relacionado a área de contato entre as partículas, as propriedades mecânicas e o consumo de resina, enquanto a razão de planicidade refere-se ao volume de ar no colchão, e a área superficial específica está diretamente ligada ao consumo de resina.

Altos índices de esbeltez resultam de partículas finas e alongadas, que conferem ao painel maior resistência ao ensaio de flexão estática e maior estabilidade dimensional (VITAL *et al.*, 1992) e a qualidade do acabamento e usinabilidade (IWAKIRI, 2005). Em contrapartida, Vital *et al.* (1992) afirmam que partículas curtas e espessas proporcionam aumento na resistência a tração perpendicular ou ligação interna.

Levando em consideração somente o tamanho das partículas, de forma geral, Bowyer *et al.* (2003) asseguram que partículas menores (pequenas e finas) são adequadas as camadas externas do painel para obtenção de melhor acabamento superficial, ideal para produção de móveis que requerem acabamento para pintura e revestimento. Contudo, partículas pequenas, devido a maior área superficial, demandam maior consumo de resina. De maneira oposta, partículas maiores apresentam menor área superficial e consequentemente maior é a disponibilidade de resina (KELLY, 1977). Corrêa (2004) ressalta que, geralmente, partículas com menor espessura e menor densidade básica resultam em partículas com maior área superficial.

2.4.2.5 Umidade das partículas

O teor de umidade do material durante o processo de prensagem é de grande importância por influenciar diretamente a resistência a compressão (TRIANOSKI, 2010).

Conforme Matos (1988), partículas com altos teores de umidade deixam as partículas mais flexíveis, com isso, menor tempo para atingir a espessura final, entretanto, o excesso de umidade necessita de maior tempo de prensagem. Maloney (1993), também considera que altas umidades podem ocasionar estouro ao painel e separação das camadas após prensagem.

Pratt (1997) cita algumas consequências que podem resultar de baixos teores de umidade das partículas, como: riscos de incêndio em secadores, descargas eletrostáticas em tubulações, aumento do pó na indústria e painéis com bordas deficientes.

Por isso, Moslemi (1974), Maloney (1993) e Vital (1992) definem que o teor de umidade ideal das partículas para produção de painéis varia de 3 a 6%.

2.4.2.6 Ciclo de prensagem

O ciclo de prensagem consiste no conjunto de condições sob qual as partículas são prensadas e consolidadas formando o painel, com variáveis como pressão, temperatura e tempo de prensagem (MATOS, 1988).

Calegari *et al.* (2005) confirmam que a pressão determina a espessura e a densidade final do painel, auxilia na transferência de calor das camadas externas para a camada interna, proporcionando a consolidação do painel. A pressão pode variar de 12 a 40 kgf/cm², é determinada de forma que permita contato entre as partículas e a diminuição dos espaços de ar, até a que se consiga uma boa colagem (HILLIG, 2000).

A principal função da temperatura é acelerar a reação de polimerização da resina (MATOS, 1988), por isso, segundo Marra (1992), o tempo é definido em função do tipo de resina utilizada. O calor é transferido das camadas externas para o interior do painel, que inicialmente ocorre a formação de vapor na superfície do colchão, ao mesmo tempo que nas camadas mais internas encontra-se frio e resistindo a compressão. Fato que possibilita, no momento que a temperatura chega ao centro, atingir a espessura desejada. Em circunstância disso, Matos (1988) alega que ocorre a maior densificação nas camadas superficiais, e define o perfil de densidade.

De modo geral, o tempo de prensagem deve ser suficiente para que o centro do painel atinja temperatura satisfatória para cura da resina, além de permanecer tempo suficiente para cura da resina. O tempo de prensagem depende principalmente da eficiência da transferência de calor no perfil do painel, da distribuição da umidade ao longo do colchão e da temperatura de prensagem (IWAKIRI, 2005). O decréscimo no tempo necessário para o processo de polimerização da resina acarreta em declínio nas propriedades de resistência mecânica (MATOS, 1988).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 MATÉRIA-PRIMA

A matéria-prima para produção dos painéis foi composta por partículas de madeira tipo *flake* de *Pinus* spp., de varas de duas espécies de bambu (*Phyllostachys edulis* e *Phyllostachys bambusoides*), resina ureia formaldeído (UF) e emulsão parafínica.

As partículas de *Pinus* spp. foram provenientes do processo de produção de painéis MDP da empresa Bonet Madeiras e Papéis Ltda., localizada no município de Santa Cecília/SC. A Bonet é uma empresa que utiliza em seu processo produtivo madeira de reflorestamento de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii* com idade de 8 anos, contudo, não há classificação quanto as duas essências florestais, utilizando-as sem distinção de espécie, somente em gênero. A retirada das partículas de *Pinus* spp. foi feita após a passagem das toras, já descascadas, em equipamento denominado cepilhador. O cepilhador é responsável pela redução das toras em partículas tipo *flake*, as quais são utilizadas diretamente na camada interna dos painéis da empresa. A resina e emulsão de parafina também foram fornecidas pela empresa Bonet.

As partículas de *Phyllostachys edulis* e *Phyllostachys bambusoides* foram obtidas em laboratório, após coleta das varas de bambu no município de Frei Rogério/SC (Figura 8.), o qual está localizado uma latitude 27°10'29" sul e a uma longitude 50°48'17" oeste, em altitude média de 950 m, com temperatura média anual de 16,4°C (IBGE, 2015).

Figura 8 - Localização dos municípios onde foram realizadas as coletas das matérias-primas

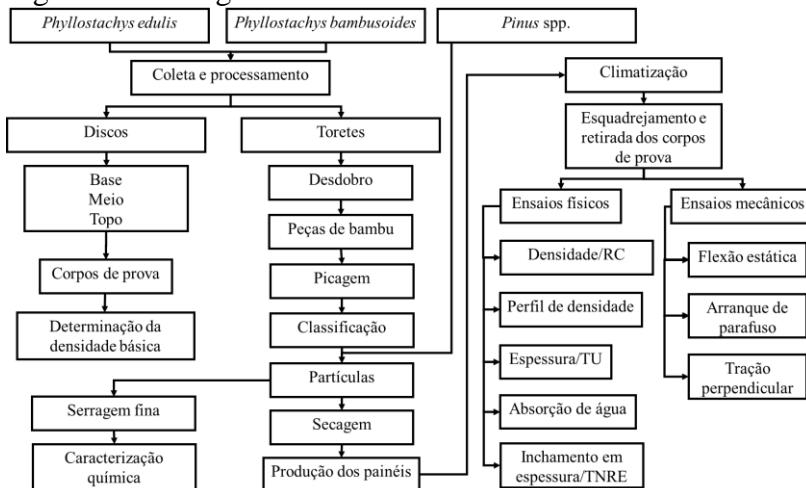


Fonte: Produção do próprio autor (2016), a partir de Weather Forecast (2016).

3.2 COLETA E PREPARO DO MATERIAL

Na Figura 9 apresenta-se o fluxograma de todas as atividades desenvolvidas no estudo.

Figura 9 - Fluxograma das atividades desenvolvidas no estudo



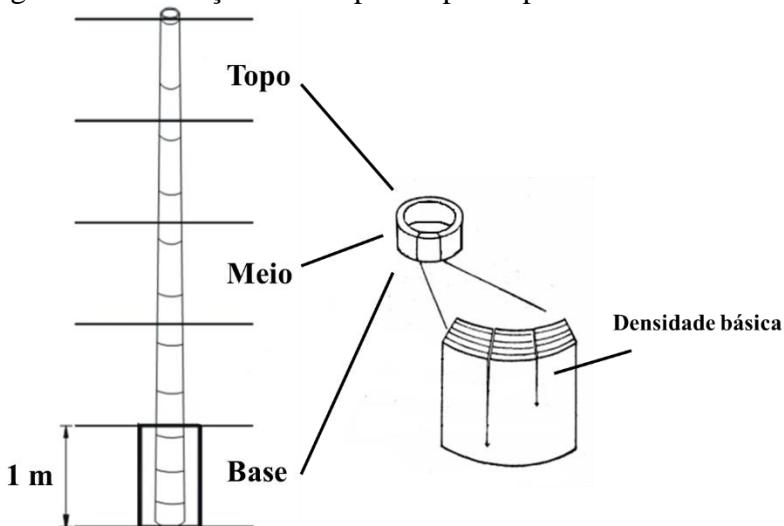
Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

Foram coletados 13 indivíduos (varas) de cada espécie de bambu, com três anos de idade e 16 m de altura. Destes, foram selecionados cinco para obtenção de corpos de prova para determinação da densidade básica.

Ainda no local de coleta das varas de bambu, os indivíduos para determinação da densidade básica foram seccionados em toretes com 1 m de comprimento nas seguintes alturas: 0% (base), 50% (meio) e 100% (topo). Dos toretes, foram retiradas 10 peças com 5 cm de comprimento da região dos entrenós dos colmos, e de cada peça obtida, um corpo de prova com 3 cm de largura, totalizando 10 corpos de prova por altura e 30 por indivíduo.

O processo de retirada dos corpos de prova para determinação da densidade básica está representado na Figura 10.

Figura 10 - Obtenção dos corpos de prova para densidade básica



Fonte: Adaptado de Tomazello Filho & Azzini (1987).

Após identificação, o material foi transportado até o Laboratório de Ensaios Físicos e Mecânicos do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina (CAV/UDESC).

O restante dos indivíduos foi desgalhado, sendo as varas de bambu seccionadas a cada 1 m de comprimento para facilitar o manuseio e transporte até o laboratório. No laboratório, as varas foram desdobradas em peças com comprimento variando entre 8 e 12 cm, de forma a facilitar o processo de picagem.

Para obtenção das partículas do painel aglomerado, os toretes passaram por moinho de facas rotativas, que os reduziu ao nível de partículas. As partículas foram classificadas em peneira com malha de 2 mm para remoção de finos do processo. As partículas *flake* de *Pinus spp.* não necessitaram desta classificação, em função de terem sido obtidas como material padrão para produção dos painéis da empresa, apenas a retirada de partículas mais finas para as análises químicas.

As partículas mais finas de bambu, juntamente com as de *Pinus* spp., foram classificadas em peneiras de 40 e 60 mesh, sendo utilizada a serragem retida na peneira de 60 mesh para análise da composição química das espécies.

A determinação das dimensões das partículas para produção dos painéis foi realizada pela mensuração do comprimento, largura e espessura de 500 partículas por espécie. Com as dimensões das partículas, foi possível determinar o índice de esbeltez (IE) por meio da razão entre o comprimento e a espessura das partículas, a razão de planicidade (RP) pela relação entre a largura e a espessura, e a área superficial (AS) pela equação 1 definida por Moslemi (1974).

$$AS = \frac{2 * ((E*L) + (L*C) + (E*C))}{(E*L*C*DE)} \quad (1)$$

Em que:

AS: área superficial das partículas (cm^2/g);

E: espessura média (cm);

L: largura média (cm);

C: comprimento médio (cm);

DE: densidade da madeira (g/cm^3).

As partículas das três espécies, *Pinus* spp., *Phyllostachys edulis* e *Phyllostachys bambusoides*, passaram pelo processo de secagem em estufa com circulação forçada de ar até umidade de $4+/-2\%$. Para o cálculo da quantidade de material (partículas, resina e emulsão parafínica) a ser utilizado por painel em cada tratamento, foi necessária a determinação do teor de sólidos da resina ureia formaldeído e da emulsão de parafina.

O teor de sólidos foi obtido através da homogeneização de cada solução, pesando-se 1,00 grama da amostra de cada material em balança analítica digital, obtendo-se então a massa úmida. Para a massa seca, a amostra foi levada a estufa com $105^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$ por 15 horas; após este período de tempo, a amostra foi mantida em dessecador até resfriamento, sendo então

novamente pesada. O teor de sólidos da resina sintética e da emulsão de parafina foi calculado pela equação 2:

$$TS = \frac{MS}{MU} * 100 \quad (2)$$

Sendo:

TS = teor de sólidos (%);

MS = massa seca (g);

MU = massa úmida (g).

3.2 DENSIDADE BÁSICA

A determinação da densidade básica das espécies de bambu foi feita em conformidade com a norma NBR 11941 (2003). Os corpos de prova foram imersos em água, sob temperatura ambiente, até atingirem a total saturação, sendo o volume determinado pelo método hidrostático. Após a obtenção do volume, os corpos de prova foram mantidos em estufa com circulação forçada de ar a $105\pm2^{\circ}\text{C}$ até massa constante (0% de umidade), sendo pesados em balança analítica de precisão. No entanto, a determinação da densidade básica das partículas de *Pinus* spp. foi utilizada a norma supracitada com algumas adaptações na definição do volume (deslocamento da água após adição das partículas já saturadas, com auxílio de filme plástico para retenção das partículas).

O cálculo da densidade básica pela norma supracitada leva em consideração a razão entre a massa seca e o volume saturado dos corpos de prova e das partículas, conforme apresentado na equação 3.

$$DEb = \frac{M_{seca}}{V_{saturado}} \quad (3)$$

Sendo:

DEb = Densidade básica (g/cm^3);

M_{seca} = Massa seca (g);

$V_{saturado}$ = Volume saturado (cm^3).

3.3 COMPOSIÇÃO QUÍMICA

As amostras de serragem de *Phyllostachys edulis*, *Phyllostachys bambusoides* e *Pinus* spp. previamente classificadas em peneiras com granulometria entre 40-60 mesh, foram submetidas as análises químicas, seguindo os parâmetros estabelecidos pelas das normas da *Technical Association of Pulp and Paper Industry* (TAPPI) e da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), conforme descrito na Tabela 2. Foram utilizadas 4 repetições por análise.

Tabela 2 - Normas utilizadas para análise da composição química das espécies

Procedimentos	Norma
Preparação do material	TAPPI T264 om-88 (1994)
Teor de cinzas	TAPPI T413 om-06 (1993)
Teor de lignina Klason	TAPPI T222 om-08 (1993)
Teor de holocelulose	TAPPI T249 om-75 (1993)
Teor de solúveis em água fria	NBR 14577 (2003)
Teor de solúveis em água quente	NBR 14577 (2003)
Teor de extractivos em etanol-tolueno	NBR 14853 (2010)
Teor de extractivos em etanol	NBR 14660 (2004)
Teor de extractivos totais	NBR 14660 (2004)

Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

3.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental foi composto por 15 tratamentos, sendo 9 em painéis homogêneos e 6 em painéis multicamada (três camadas), como pode ser visto na Tabela 3. Para cada tratamento, foram produzidos três painéis, originando ao final do estudo 45 painéis.

Tabela 3 - Plano experimental

Tratamento	Composição dos painéis (%)		
	<i>Phyllostachys edulis</i>	<i>Phyllostachys bambusoides</i>	<i>Pinus spp.</i>
Painéis homogêneos			
1 (E ₁₀₀ P ₀₀)	100	-	-
2 (E ₇₅ P ₂₅)	75	-	25
3 (E ₅₀ P ₅₀)	50	-	50
4 (E ₂₅ P ₇₅)	25	-	75
5 (B ₁₀₀ P ₀₀)	-	100	-
6 (B ₇₅ P ₂₅)	-	75	25
7 (B ₅₀ P ₅₀)	-	50	50
8 (B ₂₅ P ₇₅)	-	25	75
9 (P ₁₀₀)	-	-	100
Painéis multicamadas			
10 (P ₂₅ E ₅₀ P ₂₅)	50central	-	25si – 25ss
11 (E ₂₅ P ₅₀ E ₂₅)	25si – 25ss	-	50central
12 (P ₂₅ B ₅₀ P ₂₅)	-	50central	25si – 25ss
13 (B ₂₅ P ₅₀ B ₂₅)	-	25si – 25ss	50central
14 (P ₂₅ C ₅₀ P ₂₅)	12,5central	12,5central	25si – 25ss
15 (C ₂₅ P ₅₀ C ₂₅)	12,5si – 12,5 ss	12,5si – 12,5 ss	50central

Legenda: si = superfície inferior; ss = superfície superior. Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

Os painéis de foram produzidos de acordo os seguintes parâmetros:

- Dimensões do painel: 40,0 x 40,0 x 1,55 cm

- Densidade nominal: 700 kg/m³
- Teor de umidade das partículas: 4+/-2%.
- Resina Ureia Formaldeído (UF)
 - Teor de sólidos: 63,02%
 - Proporção aplicada: 12% (base na massa seca das partículas).
- Emulsão de parafina
 - Teor de sólidos: 50,68%
 - Proporção aplicada: 1,0% (base no peso seco das partículas).
- Pré prensagem a frio:
 - Pressão: 5 kgf/cm²
 - Tempo: 5 minutos.
- Prensagem a quente:
 - Temperatura: 160°C
 - Pressão específica: 40 kgf/cm²
 - Tempo: 8 minutos após fechamento da prensa (40 segundos para fechamento da prensa).

3.5 PRODUÇÃO DOS PAINÉIS

A aplicação dos componentes do adesivo foi realizada com auxílio de uma pistola de ar comprimido, que pulverizou a resina e a emulsão de parafina de forma independente. A pistola, por sua vez, estava localizada dentro de uma encoladeira tipo tambor rotativo, que movimentava as partículas a velocidade de 20 rpm. O tempo médio para pulverização total da resina foi de 10 minutos e para a emulsão 2 minutos.

A massa de partículas impregnada de resina e emulsão de parafina foi disposta em caixa formadora que possuía como base uma chapa de aluzinco e laterais de compensado laminado. As dimensões internas da caixa eram de 40 x 40 cm.

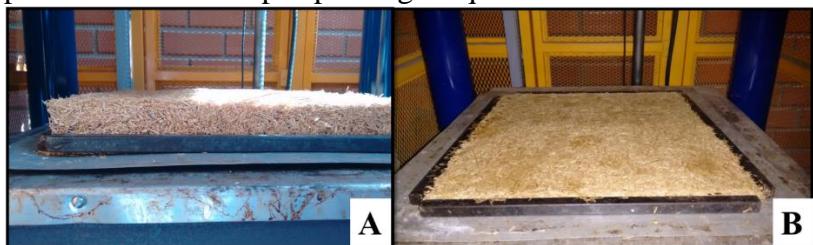
Após a formação do colchão, foi efetuada a pré prensagem a frio do colchão em uma prensa hidráulica com

pressão específica de 5 kgf/cm² por 5 minutos. A pré-prensagem teve como finalidade reduzir os espaços de ar entre as partículas, além da diminuição da altura do colchão, o que facilitou o transporte até a prensa quente.

Com a acomodação das partículas e a diminuição da altura do colchão, procedeu-se a retirada das laterais da caixa formadora. Nas laterais do colchão, foram dispostas barras de ferro (*stops*) com espessura de 15,5 mm, as quais atuaram como limitadores de espessura (Figura 11A.). Sobre o colchão foi colocada uma placa de aluzinco, de forma a evitar o contato direto com os pratos da prensa quente. O colchão de partículas foi levado à prensa quente da marca Marconi modelo MA 098.

Após confeccionado, visto na Figura 11B, os painéis foram identificados e permaneceram em sala de climatização com temperatura de 20°C+/-3 e umidade relativa do ar em 65%+/-5, afim de atingirem massa constante.

Figura 11 - Painel no processo de prensagem. A: Colchão a ser prensado. B: Painel pós prensagem quente



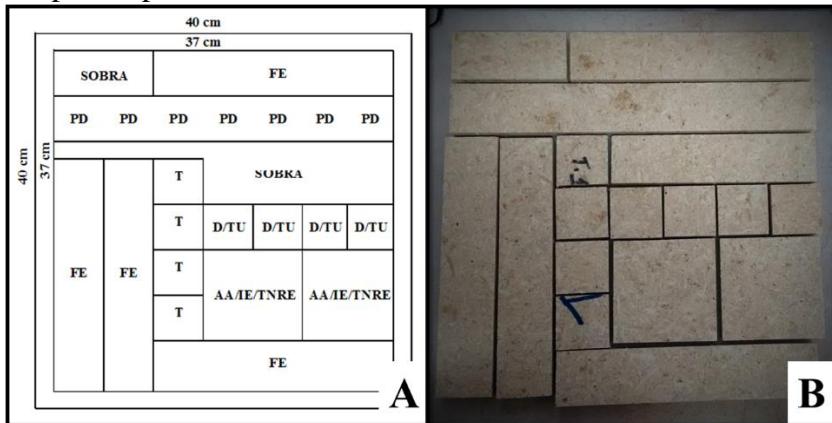
Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

3.6 AVALIAÇÃO TECNOLÓGICA DOS PAINÉIS

Após o período de estabilização em massa, os painéis foram esquadrijados para dimensões de 37 x 37 cm, a fim de regularizar e eliminar os efeitos das bordas. Os corpos de prova foram confeccionados de acordo com o *layout* apresentado na

Figura 12, de modo que fossem retirados 21 corpos de prova para os ensaios das propriedades físicas e mecânicas.

Figura 12 - Confecção dos corpos de prova. A: *Layout*; B: Corpos de prova



Legenda: FE: Flexão estática; PD: Perfil de densidade; T: Tração perpendicular; D/TU: Densidade e teor de umidade; AA/IE/TNRE: Absorção em água/inchamento em espessura/taxa não retorno espessura. Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

O referencial normativo de dimensionamento dos corpos de prova e realização dos ensaios seguiram as normas ASTM D1037(1995), DIN 52362 (1982) e NBR14810, (2013). Os corpos de prova foram acondicionados novamente em ambiente climatizada até o momento da realização dos ensaios.

Tabela 4 - Normas dos ensaios realizados

Teste	Dimensões (mm)	Norma específica
Densidade e teor de umidade	50 x 50	
Absorção de água	100 x 100	ASTM D1037 (1995)
Inchamento em espessura	100 x 100	
Tração perpendicular	50 x 50	
Arranque de parafuso	115 x 50	NBR 4810 (2013)
Flexão estática	250 x 50	DIN 52362 (1982)
Perfil de densidade	50 x 50	
Razão de compactação	50 x 50	---
TRNE	100 x 100	

Legenda: TNRE = Taxa de não retorno em espessura. Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

3.6.1 Razão de compactação

A razão de compactação é determinada pela relação entre a densidade efetiva do painel e a densidade da madeira ou material que foi produzido, conforme descrito na equação 5. Nos painéis produzidos a partir da mistura de espécies, a densidade do material foi realizada de forma proporcional.

$$RC = \frac{DEp}{DEb} \quad (5)$$

Onde:

RC= Razão de compactação;

DEp = Densidade efetiva do painel (kg/m^3);

DEb = Densidade básica da madeira ou densidade básica da mistura (kg/m^3).

3.6.2 Perfil densitômetro de raios X

Para cada painel foram demarcados e cortados 7 corpos de prova (50 x 50 mm) ao longo do painel, totalizando 21 corpos de prova por tratamento. Posteriormente, foram analisados em equipamento densitômetro de raios X IMAL modelo DPX300 para obtenção dos valores médios de densidade aparente ao longo da espessura dos painéis, sendo determinadas a densidade média, densidade máxima superior, densidade mínima e densidade máxima inferior. Em seguida, para cada painel, conjunto de 7 corpos de prova, foi obtido uma curva gráfica que representa um perfil de densidade para cada painel estudado (Apêndice C).

3.6.3 Taxa de não retorno em espessura

Para o cálculo da taxa de não retorno em espessura (TNRE), também denominada de *springback* ou inchamento residual, usou-se a relação entre a espessura inicial dos corpos de prova após o período de climatização inicial e a espessura final do corpo de prova estabilizado após a realização do ensaio de inchamento em 24 horas. A equação 6 apresenta a fórmula de cálculo.

$$TNRE = \frac{Ef - Ei}{Ei} * 100 \quad (6)$$

Em que:

TNRE = taxa de não retorno em espessura (%);

Ef = espessura final (mm);

Ei = espessura inicial (mm).

3.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise dos resultados encontrados para densidade básica e composição química do bambu e do *Pinus* spp. foi

realizada de forma descritiva, com seus respectivos valores médios e coeficientes de variação. Para comparação entre espécies foi realizado teste de normalidade e homogeneidade de variâncias por meio dos testes de Shapiro Wilk e Cochran, com posterior análise de variância e teste de médias de Tukey a 95% de confiabilidade.

Para os resultados encontrados nas propriedades físicas e mecânicas dos painéis, fez-se a análise em duas partes distintas:

- a) Comparação entre os painéis homogêneos; foram comparados os painéis em dois grupos conforme as proporções de 0-25-50-75-100 de cada espécie de bambu e para auxiliar a interpretação foi utilizado o ajuste de análise de regressão, sendo empregados vários modelos; comparação de médias entre os painéis produzidos de forma pura com partículas das 3 espécies do estudo, para verificar a viabilidade técnica das espécies de bambu em relação a madeira de *Pinus spp.*
- b) Comparação entre os painéis multicamadas; equiparados todos os painéis em multicamadas, e também a comparação entre as diferentes espécies de camadas do colchão (centro e superfície).

Em todas as análises, os dados passaram primeiramente pela verificação de normalidade e homogeneidade de variâncias por meio dos testes de Shapiro Wilk e Cochran, respectivamente. Para os dados que não atenderam a normalidade ou a homogeneidade de variâncias, fez-se o uso da transformação de dados do tipo Box-Cox, tornando possível a realização da análise estatística paramétrica dos resultados. Entretanto, mesmo com a transformação, algumas variáveis (geometria de partículas, teor de umidade, taxa de não retorno em espessura e arranque de parafuso) não responderam a normalidade de dados e/ou homogeneidade de variâncias, sendo feito o uso da estatística não paramétrica com o teste de Kruskal Wallis.

Com os pressupostos atendidos, cada variável resposta foi submetida à Análise de Variância, foi aplicada também a

Análise de Covariância, devido à heterogeneidade de densidade observada e sua influência sobre as propriedades. Com rejeição da hipótese de nulidade (H_0), foi utilizada o teste de médias de Tukey a 95% de probabilidade de acerto.

Para de atestar a qualidade e viabilidade dos painéis produzidos, os resultados foram comparados a literatura especializada e com as normas de qualidade, tanto nacional com a NBR 14810 (2013) e internacionais com as ANSI A208.1 (2009), CS 236-66 (1968) e EN 312-2 (2003).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ESPÉCIES

4.1.1 Densidade básica

Os valores médios referentes à determinação da densidade básica das duas espécies de bambu (*Phyllostachys edulis* e *Phyllostachys bambusoides*) e das partículas de *Pinus* spp. estão apresentados na Tabela 5. Observa-se que o *Phyllostachys edulis* apresentou valor médio de 735 kg/m³, *Phyllostachys bambusoides* de 576 kg/m³ e as partículas de *Pinus* spp., 460 kg/m³. Ao mesmo tempo, verifica-se que os coeficientes de variação apresentaram-se baixos (inferiores a 15%) de acordo com classificação definida por Ferreira (1996), o que demonstra baixa dispersão dos dados.

Tabela 5 - Valores médios da densidade básica

Indivíduo / espécie	Densidade básica (kg/m³)		
	<i>Phyllostachys edulis</i>	<i>Phyllostachys bambusoides</i>	<i>Pinus</i> spp.
1	732 (2,95)	574 (3,83)	465 (6,39)
2	763 (7,87)	574 (3,99)	460 (5,79)
3	711 (8,18)	553 (6,34)	459 (10,37)
4	744 (6,96)	570 (5,57)	456 (9,22)
5	726 (7,02)	610 (9,62)	461 (11,01)
Média geral	735 (7,25)	576 (7,04)	460 (9,76)

Em que: Coeficiente de variação em parênteses. Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

Os valores médios de densidade básica das duas espécies do gênero *Phyllostachys* estão inseridos na variação mencionado

por Zhou (1981), 500 a 900 kg/m³. De acordo com a classificação de densidade do Programa Nacional de Qualidade da Madeira (ABIMCI, 2009), o *Phyllostachys edulis* pode ser enquadrado como densidade Classe 3 (maior que 700 kg/m³), enquanto que o *Phyllostachys bambusoides*, como Classe 2 (entre 500 e 700 kg/m³). Já, pela classificação adotada pelo *Forest Products Laboratory* (1987), o *Phyllostachys edulis* se enquadra como densidade excessivamente pesada (entre 720 e 860 kg/m³) e o *Phyllostachys bambusoides* como pesada (entre 500 e 600 kg/m³).

Na tabela 6 estão apresentados os valores médios de densidade básica encontrados na literatura para diversas espécies de bambu para fins de comparação, sendo possível observar que há grande variação entre as espécies e dentro da mesma espécie, como denota-se para o *Bambusa vulgaris* var. *vittata*, o *Phyllostachys nigra* e o *Phyllostachys pubescens*.

Tabela 6 - Valores médios da literatura para densidade básica

Espécies bambu	Densidade básica (kg/m ³)	Referência
<i>Bambusa tuldaoides</i>	712	Brito <i>et al.</i> (1987)
<i>B. vulgaris</i>	687	Brito <i>et al.</i> (1987)
<i>B. vulgaris vittata</i>	744	Brito <i>et al.</i> (1987)
<i>Dendrocalamus asper</i>	802	Targa (2011)
<i>D. giganteus</i>	744	Brito <i>et al.</i> (1987)
<i>Guadua angustifolia</i>	629	Brito <i>et al.</i> (1987)
<i>Phyllostachys edulis</i>	890	Tran (2010)
<i>P. aurea</i>	640	Nascimento <i>et al.</i> (2012)
<i>P. bambusoides</i>	780	Kerschbaumer (2014)
<i>P. nigra</i>	860	Kerschbaumer (2014)
<i>P. nigra</i>	620	Dall'igna (2015)
<i>P. pubescens</i>	670	Berndsen <i>et al.</i> (2009)
<i>P. pubescens</i>	790	Kerschbaumer (2014)
<i>P. pubescens</i>	610	Chung (2003)

Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

O *Phyllostachys edulis* (735 kg/m^3) quando comparado com os valores encontrados em outros trabalhos da literatura, verifica-se que possui densidade básica semelhante a espécies como a *Bambusa vulgaris* var. *vittata* (744 e 730 kg/m^3) e o *Dendrocalamus giganteus* (744 kg/m^3). Quando comparado a espécies do mesmo gênero, a melhor equivalência é encontrada com o *Phyllostachys bambusoides* (780 kg/m^3) pesquisado por Kerschbaumer (2014). De forma concomitante, a densidade básica do *Phyllostachys bambusoides* (576 kg/m^3) se apresentou inferior a todas espécies de bambu pesquisadas como referência (Tabela 6), inclusive a Kerschbaumer (2014) que estudou a mesma espécie.

Berndsen *et al.* (2009) Pereira e Beraldo (2007) correlacionam essa diferença nas densidades as características anatômicas de cada espécie, principalmente no que se refere ao tamanho, quantidade e distribuição dos feixes de fibras ao redor dos vasos, e ao espessamento da parede celular das fibras; as condições de herança genética e as variações edafoclimáticas das regiões de crescimento, além de, segundo Li (2004), a idade dos povoamentos também ser outro fator que possui alta influência na variável em análise, onde indivíduos da mesma espécie com maior idade tendem a possuir maior densidade básica.

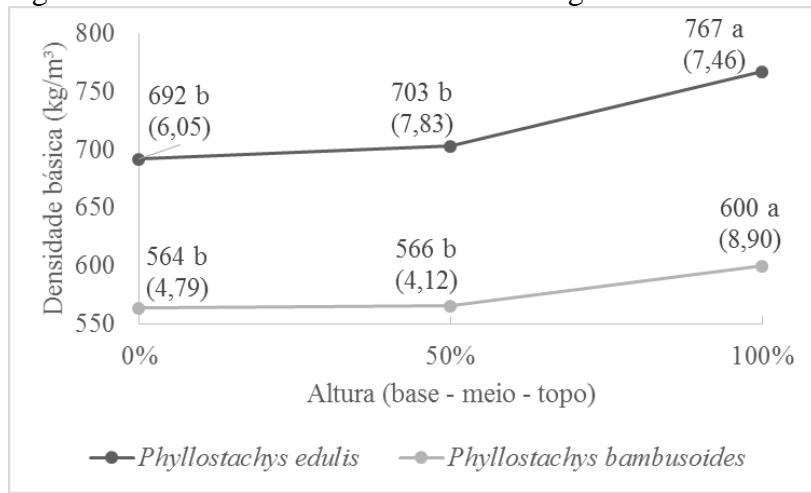
Traçando um paralelo entre o bambu e as espécies lenhosas, nota-se de forma geral, que a maior densidade do bambu em relação às essências florestais, principalmente as espécies de rápido crescimento como *Pinus taeda* estudado por Rigatto *et al.* (2003), 383 kg/m^3 ; ao *Pinus elliottii* do estudo de Durlo (1988) com variação entre 370 e 530 kg/m^3 .

Para painéis de madeira reconstituída de média densidade, Iwakiri *et al.* (2001) delimitam a baixa densidade como um dos requisitos principais para uma espécie estar adequada para produção painéis de madeira. Para minimizar o impacto deste fator, diversos autores como Moslemi (1974), Maloney (1993), Bianche *et al.* (2012), explicam que a mistura

entre espécies de diferentes densidades é uma técnica possível de ser utilizada com resultado final satisfatório, permitindo desta forma, o uso de espécies com densidades mais elevadas em associação com espécies de baixa densidade.

Os valores de densidade básica no sentido longitudinal (base, meio e topo) são apresentados na Figura 13. A análise estatística evidencia o acréscimo da densidade com o aumento da altura. As duas espécies de bambu apresentaram a partir da porção mediana com valores superiores estatisticamente as alturas de 0% e 50% (base e meio).

Figura 13 - Densidade básica no sentido longitudinal



Em que: Coeficiente de variação (CV) entre parênteses. Médias seguidas por letras diferentes no sentido longitudinal diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade. Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

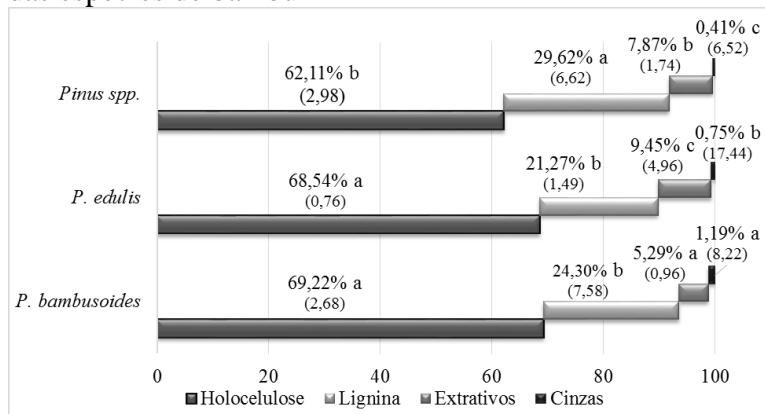
Essa diferença caracterizada pela ascensão da densidade conforme aumento da altura do colmo também foi observado como frequente ao bambu por diversos autores como Pereira e Beraldo (2007), Chung (2003), Berndsen, *et al.* (2010) e Lee *et al.* (1998). Essa diferença da densidade no sentido longitudinal é resultado do decréscimo da espessura da parede do colmo da

base até o topo. A parte interna do colmo que contém maior concentração de tecido parenquimático é reduzida conforme aumento da altura, enquanto a camada mais externa com maior agrupamento de fibras é mantida, implicando em maior densidade no topo (PEREIRA, 2001; LIESE, 1998; LOPEZ, 2003). Por se tratar de uma planta lenhosa, monocodiledônea, o bambu não possui crescimento secundário ao longo de seu desenvolvimento, por isso as características dos colmos são distintas das espécies arbóreas, que geralmente, apresentam densidade mais elevada na base com diminuição ao longo da altura da árvore.

4.1.2 Composição química

Os teores médios referentes a análise da composição química quantitativa do *Pinus* spp. e das espécies de bambu estão apresentados na Figura 14, enquanto que na Tabela 7 estão apresentados os valores médios de holocelulose, lignina, extractivos totais e cinzas encontrados na literatura para diversas espécies de bambu para fins de comparação.

Figura 14 - Composição química quantitativa do *Pinus* spp. e das espécies de bambu



Em que: Coeficiente de variação (CV) entre parênteses. Médias seguidas por letras diferentes no sentido vertical diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade. Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

Tabela 7 - Valores médios da literatura para composição química

Espécie	H (%)	L (%)	E (%)	C (%)	Referência
<i>Bambusa tuloides</i>	67,2	25,5	3,6	3,7	Correia (2011)
<i>B. vulgaris</i>	67,3	22,9	9,4	1,1	Férnandez (2010)
<i>B. vulgaris</i>	67,5	17,3	13,0	2,0	Guimarães Jr. (2011)
<i>B. vulgaris vittata</i>	66,1	20,2	13,7	5,1	Brito <i>et al.</i> (1987)
<i>Dedrocalamus giganteus</i>	66,9	22,7	9,2	1,0	Marinho <i>et al.</i> (2012)
<i>Guadua tagoara</i>	59,4	17,8	23,2	1,3	Bilesky (2014)
<i>Phyllostachys aurea</i>	63,8	28,1	8,0	-	Xavier <i>et al.</i> (2005)
<i>P. bambusoides</i>	-	25,5	-	0,6	Scurlocka <i>et al.</i> (2000)
<i>P. bambusoides</i>	56,1	21,3	-	1,6	Kerschbaumer (2014)
<i>P. bambusoides</i>	-	25,5	16,2	-	Junior (2015)
<i>P. pubescens</i>	70,5	24,3	3,2	1,9	Li (2004)
<i>P. pubescens</i>	45,0	23,5	-	1,3	Kerschbaumer (2014)
<i>P. nigra</i>	52,2	23,8	-	0,8	Kerschbaumer (2014)

Legenda: H: Holocelulose; L: Lignina; E: Extrativos totais; C: Cinzas. Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

4.1.2.1 Holocelulose

A holocelulose é o constituinte de maior abundância encontrado para as três matérias-primas analisadas, porém com diferença estatística entre as duas espécies de bambu que apresentaram os maiores percentuais e o *Pinus* spp.

De Melo *et al.* (2015) afirmam que a maior concentração de holocelulose pode ocasionar maior absorção de água em painéis reconstituídos confeccionados por grande quantidade deste material, quando comparado com painéis produzidos com espécies florestais, embora celulose não cristalina e lignina também desempenhem papel importante neste processo. Vale *et al.* (2010) afirmam que quanto maior a densidade do material lignocelulósico menor o teor de holocelulose, o que corroboram com os dados de densidade e holocelulose deste estudo, além disso Rigatto *et al.* (2004) concluíram que os atributos físicos do solo têm grande influência na densidade básica e o teor de holocelulose.

Quando se compara o teor de holocelulose do *Phyllostachys edulis* e do *Phyllostachys bambusoides* com outras espécies de bambu, é possível notar que há uma semelhança com espécies de bambu de outros gêneros, principalmente ao *Bambusa* (67,2%, 67,3% e 67,5%) e ao *Dendrocalamus giganteus* (66,9%), e também do mesmo gênero como o *Phyllostachys pubescens* (70,5%). A porcentagem de holocelulose no bambu também está relacionada à idade dos colmos; bambus jovens de 1 ano de idade apresentaram baixos teores de holocelulose quando comparados a indivíduos de 3 anos, contudo, após essa idade não há variação significativa desse constituinte químico (LI, 2004).

Levando em consideração o teor de holocelulose do *Pinus* spp. (62,11%), o valor médio encontrado no presente estudo foi inferior ao do *Pinus taeda* estudado por Klock (2000), Bortoleto Jr. (1999) e Andrade (2006), que encontraram 68,00%, 69,60% e entre 70,70% e 72,73%, respectivamente.

Entretanto o valor se assemelha ao observado para mesma espécie por Trianoski (2010), 63,03%. Quando comparado à pesquisa de Balloni (2009) com *Pinus elliottii* (68,80%), a média deste estudo também apresenta-se menor valor. Essa diferença está diretamente ligada à idade das árvores em questão (RAYMOND, 2000) e também a proporção de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii* na composição da serragem analisada. Ainda segundo Raymond (2000), os teores de holocelulose aumentam conforme a idade da árvore.

4.1.2.2 Lignina

O teor de lignina (Figura 14) apresentou, da mesma forma que para holocelulose, diferença estatística significativa entre o *Pinus* spp. e as duas espécies de bambu (*Phyllostachys edulis* e *Phyllostachys bambusoides*), no entanto com maior percentual na primeira espécie (29,62%). Para a indústria de painéis reconstituídos, maiores teores de lignina são interessantes, visto que, segundo D'Almeida (1988), há uma melhora na *performance* da colagem do painel, uma vez que a lignina age como agente cimentante no momento de consolidação na prensa quente; atua na melhora do desempenho mecânico de tração perpendicular (JOSELEAU *et al.*, 2004); e físico de absorção de água e umidade de equilíbrio (ANDRADE e COLODETTE, 2010); também se ressalta a interferência do menor teor de lignina do bambu, quando comparado à madeira, visto que a lignina é um constituinte químico que apresenta característica hidrofóbica (DE MELO *et al.*, 2015).

O teor de lignina encontrado para o *Phyllostachys edulis* (21,27%) é semelhante aos valores encontrados para os gêneros *Bambusa* (22,9% e 20,2%) e *Dendrocalamus* (22,7%), contudo ficou inferior a todas as espécies do mesmo gênero *Phyllostachys* (28,1%, 24,3%, 26,1%, 23,8% e 25,3%), com exceção do *Phyllostachys bambusoides* (21,3%) do estudo de Kerschbaumer (2014). Com paralelo traçado entre a lignina do

Phyllostachys bambusoides (24,30%) e as espécies referenciadas, é possível notar semelhança as espécies do mesmo gênero e ao *Bambusa tuldaoides* (25,5%), porém é superior as demais espécies pesquisadas. De acordo com Bai (1996), a lignina é um constituinte químico dependente da fração do colmo da qual é retirada; os nós geralmente possuem menor concentração deste composto em relação aos entrenós.

O teor de lignina apresentado pelo *Pinus* spp. (29,62%) está em consonância com o *Pinus taeda* estudado por autores como: Rigatto *et al.* (2004) que encontrou intervalo percentual entre 26,29% e 29,73% com indivíduos de 12 anos de idade, Bortoletto Jr. (1999) com 27,10% com madeira de 23 anos, Klock (2000) com 28,76% e Andrade (2006) entre 26,55% e 28,87%; e *Pinus elliottii* pesquisado por Balloni (2009) com 28,00%.

4.1.2.3. Extrativos totais

A média dos extrativos totais determinada para *Phyllostachys edulis* (9,45%) foi superior estatisticamente ao *Pinus* spp. (7,87%) e ao *Phyllostachys edulis* (5,29%). O processo de colagem de painéis de madeira pode sofrer interferência da quantidade e do tipo de extrativos presentes na matéria prima, o que acarreta problemas com o maior consumo de adesivo e a taxa de cura do mesmo (CLOUTIER, 1998). Apesar da influência, Trugilho *et al.* (1996) afirmam que o teor de extrativos não é o motivo isolado na qualidade de adesão das partículas, dessa forma, se faz necessário avaliar as relações entre as características da matéria-prima e a sua adesão para compreender as relações das propriedades tecnológicas com as químicas.

O teor médio de extrativos totais encontrado para *Phyllostachys edulis* apresentou média próxima a encontrada por Fernández (2010) para *Bambusa vulgaris*, por Marinho *et al.* (2012) para *Dendrocalamus giganteus* e Xavier *et al.* (2005)

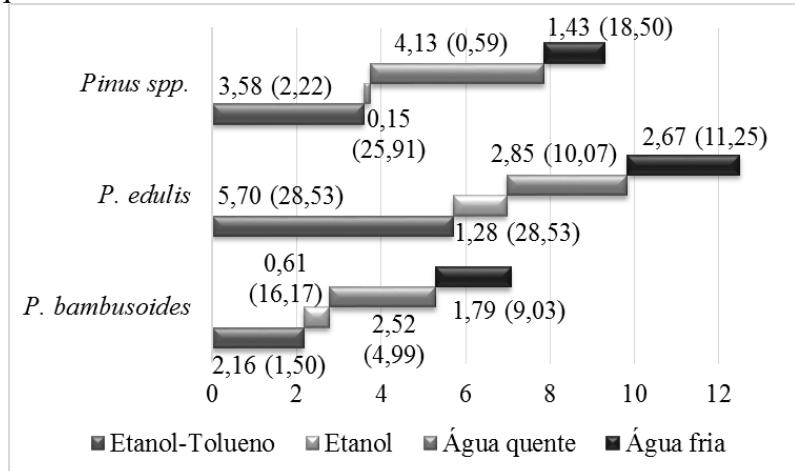
para *Phyllostachys aurea*. Entretanto, os demais estudos apresentados na Tabela 7 obtiveram médias abaixo ou acima do encontrado no atual estudo, isso demonstra a variação dos extrativos totais entre as espécies de bambu. Comparando o *Phyllostachys bambusoides*, nota-se que ficou com teores abaixo das referências, como similaridade apenas ao *Bambusa tuldaoides* (3,6%) e ao *Phyllostachys pusbencens* (3,2%).

De acordo com D'Almeida *et al.* (1988), os fatores climáticos também exercem grande influência na quantidade de extrativos totais presentes no bambu; isso acontece em virtude da facilidade que os extrativos são removidos por água ou solventes inorgânicos neutros, ou mesmo volatilizados por vapor. Os mesmos autores ainda descrevem que os extrativos estão presentes em todas as partes da planta, variando de 3 a 10%.

O percentual obtido para *Pinus* spp. foi superior ao encontrado por Andrade (2006) para *Pinus taeda*, que variou entre 1,85% a 3,10%, por Klock (2000) que determinou 3,03% e Riggato *et al.* (2004) que ficou entre 2,93% e 3,06%, contudo o valor foi semelhante ao percentual de extrativos totais encontrado por Trianoski (2010) também com *Pinus taeda* de 7,37% e Gorski (2014) com 9,40%. A média também foi superior a 3,00% do *Pinus elliottii* estudado por Balloni (2009). Os valores encontrados pelos diversos autores demonstram a grande variabilidade de extrativos totais mesmo entre espécies do mesmo gênero.

Na Figura 15 estão apresentadas as médias para os extrativos solúveis nos solventes etanol-tolueno (1:2), etanol, água quente e água fria.

Figura 15 - Extrativos solúveis em etanol-tolueno, etanol e água quente/fria



Em que: Coeficiente de variação em parênteses. Produção do próprio autor, 2016.

Os extractos do bambu retirados em solventes etanol-tolueno ($C_2H_5OH - C_6H_6OH$) e etanol (C_2H_5OH) consistem em materiais que fazem parte dos constituintes do bambu, que são as ceras, as gorduras, resinas e gomas, já os extractos em água quente (H_2O) no bambu incluem taninos, gomas, açúcares, corantes e amidos (LI, 2004).

Comparando os extractos em etanol tolueno das espécies de bambu com a literatura, pode-se citar o mesmo pesquisador; Li (2004) estudando o *Phyllostachys pubescens* da idade de 1 e 3 anos, com 3,22% e 4,59% respectivamente, e Moreira (2012) estudando *Bambusa vulgaris* encontrou 5,61% e 4,14% para idades de 1 e 3 anos. Tal fato demonstra que a idade tem influência direta na porcentagem de extractos

etanol:tolueno, porém de formas distintas dependendo da espécie estudada.

Os extrativos solúveis em água quente das duas espécies de bambu foram inferiores aos encontrados por diversos autores observados na literatura, como: Marinho *et al.* (2012) com *Dendrocalamus giganteus* com 3 anos de idade e teor de extrativos de 9,62%, enquanto Li (2004) obteve média de 6,41% para *Phyllostachys pubescens* com 3 anos de idade. De acordo com o mesmo autor, os extrativos em água quente variam conforme idade e altura dos colmos analisados. Com relação a idade, os extrativos incrementam do primeiro ao terceiro ano e que após isso há decréscimo no teor de extrativos em água quente. Entretanto quanto à altura, de forma geral, colmos mais altos possuem maior concentração de extrativos em comparação as porções da base e do meio. Além disso, segundo Mabilagan *et al.* (2002) as partes do colmo também influenciam o teor de extrativos em que os entrenós concentram maior quantidade de solúveis em etanol:tolueno e água quente em relação ao nó.

Os extrativos do *Pinus* spp., tanto em etanol:tolueno quanto em água quente, foram inferiores ao *Pinus* spp. do estudo de Gorski (2014) com 4,22% e 1,28%, respectivamente. Já para *Pinus taeda* da pesquisa de Mendes *et al.* (2002), os extrativos em água quente foram de 2,44%, também acima do encontrado no presente estudo.

4.1.2.4 Cinzas

A proporção de material inorgânico é demonstrada por meio do teor de cinzas, estatisticamente a porcentagem de cinzas do *Phyllostachys bambusoides* (1,19%) foi maior em relação ao *Phyllostachys edulis* (0,75%) que por sua vez foi verificada diferença estatística ao encontrado para o *Pinus* spp. (0,41%). O teor de cinzas mais elevado apresenta compostos como sílica e cálcio, proporcionando maior durabilidade, prevenindo contra o ataque de agentes xilófagos como cupins e térmitas (MELO *et*

al., 2010a), entretanto, conforme Iwakiri (2005), a presença de sílica também proporciona desgaste excessivo das peças cortantes, prejudicando a usinabilidade do painel.

Comparando as cinzas do bambu com outras espécies da Tabela 7, nota-se que o teor de cinzas determinado para o *Phyllostachys edulis* foi inferior a todos os outros autores buscados na literatura, inclusive para espécies do mesmo gênero *Phyllostachys*, a exceção ficou pelo *Phyllostachys bambusoides* (0,60%) e *Phyllostachys nigra* (0,80%) de Kerschbaumer (2014) com médias semelhantes a espécie estudada. Levando em consideração a espécie *Phyllostachys bambusoides*, os valores obtidos foram semelhantes a *Bambusa vulgaris* (1,1%) de Férnandez (2010) e as espécies do mesmo gênero como *Phyllostachys pubescens* (1,3%) (KERSCHBAUMER, 2014).

De acordo com Li (2004) o teor de cinzas do bambu pode variar até mesmo em um único indivíduo, geralmente as frações mais altas do bambu possuem maior concentração de cinzas em relação aos colmos da base.

Para o *Pinus* spp., as cinzas ficaram com teores em conformidade com Souza *et al.* (2012) que obtiveram 0,45% para *Pinus taeda*, e dentro dos parâmetros da mesma espécie definidos por Schultz (1997) entre 0,25% a 0,54%.

4.1.3 Geometria das partículas

As características dimensionais das partículas de *Pinus* spp. oriunda do processo industrial, bem como das espécies de bambu utilizadas na montagem dos painéis compósitos do estudo estão apresentadas na Figura 16, enquanto que as relações entre as dimensões das partículas expressas pelo índice de esbeltez, razão de planicidade e área superficial, na Tabela 8.

Figura 16 - Características das partículas industriais de *Pinus* spp. e laboratoriais de bambu



Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

Tabela 8 - Valores médios da geometria das partículas

Espécie	C (mm)	L (mm)	E (mm)	IE	RP	AS (cm ² /g)
<i>Pinus</i> spp.	15,0	4,0	0,4	59,5 a	15,9 a	239,2 a
<i>P. edulis</i>	16,8	1,5	0,9	23,5 b	1,7 b	57,8 b
<i>P. bambusoides</i>	21,4	1,7	1,1	24,4 b	1,7 b	63,8 b

Legenda: C: comprimento, L: largura, E: espessura, IE: índice de esbeltez, RP: razão de planicidade, AS: área superficial. Médias seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Kruskal Wallis ao nível de 95% de probabilidade. Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

As partículas de bambu produzidas em laboratório foram caracterizadas como mais longas e espessas que a partículas de madeira de *Pinus* spp., comportamento semelhante ao estudo de Arruda et al. (2011) estudando as partículas de bambu (*Guadua magna*) e madeira (*Pinus taeda*).

O maior índice de esbeltez foi apresentado pelas partículas de *Pinus* spp. provenientes do processo industrial; já as partículas das espécies de bambu geradas a partir do moinho de facas rotativas laboratorial não diferenciaram estatisticamente entre si.

Partículas com altos índices de esbeltez normalmente resultam em elevadas propriedades no ensaio de flexão estática (MALONEY, 1993; IWAKIRI, 2005) e estabilidade dimensional (KELLY, 1977; MOSLEMI, 1974). Concomitantemente, Moslemi (1974) explica que podem ocasionar maior instabilidade dimensional devido às posições que as partículas podem tomar durante o processo de formação do painel. Importante destacar que, possivelmente, os menores índices de esbeltez das partículas de bambu referem-se ao fato de que durante a etapa de obtenção das partículas não se fez uso de cavacos e sim de peças entre 8 e 12 cm de comprimento (conforme descrito no item 3.1). Contudo, as características das partículas de bambu, principalmente em relação às maiores espessuras, podem favorecer, segundo Vital et al. (1992), o ensaio de tração perpendicular.

Alguns autores da literatura obtiveram valores diferenciados, como exemplo Morais (2011) com partículas de *Bambusa tuldaoides* e índice de esbeltez de 28,18, Jovanovski et al. (1998) com partículas de *Pinus ponderosa* com índice de 44,49, enquanto Colli et al. (2010) trabalharam com índice de esbeltez de 7,09 para partículas de *Schyzolobium amazonicum* e também Trianoski (2010), estudando diversas espécies tropicais o índice variou entre 9,57 para *Schizolobium parahyba* e 18,64 para *Melia azedarach*, as partículas de *Pinus taeda* da autora atingiu 10,78. Segundo Trianoski (2010), as variações nos

índices ocorrem em função da espécie, do tipo de equipamento para geração dos cavacos e partículas e a espessura necessária para o produto final.

A razão de planicidade foi superior para o *Pinus* spp. em relação as partículas das espécies de bambu, principalmente devido a menor espessura das partículas de madeira. De acordo com Saldanha (2004), quanto maior a razão de planicidade, melhores são as condições de distribuição da resina pelo fato da maior área de contato entre as partículas.

Da mesma forma, em consequência das menores espessuras, a área superficial das partículas de *Pinus* spp. foi superior às duas espécies de bambu. Trianoski (2010) explica que a área superficial específica é influenciada, além das dimensões das partículas, pela densidade básica do material, o que resulta em variações na propriedade. Segundo a mesma autora, a área superficial vai influenciar diretamente na disponibilidade de resina, com isso as partículas de *Pinus* spp. terão menor quantidade de resina disponível enquanto a maior área específica das espécies de bambu resultará em maior acessibilidade da resina entre partículas.

4.2 PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DOS PAINÉIS

4.2.1 Densidade e razão de compactação

4.2.1.1 Painéis homogêneos

Os valores médios encontrados para densidade e razão de compactação dos painéis homogêneos em cada tratamento estão apresentados na Tabela 9, onde se observa que a variação para densidade foi de 657 (P_{100}) a 766 kg/m^3 ($B_{100}P_{00}$) e para razão de compactação de 0,97 ($E_{100}P_{00}$) a 1,45 ($E_{25}P_{75}$). Conforme preconiza Ferreira (1996), todos os coeficientes de variação

foram considerados com baixa dispersão de dados e ótima precisão.

Tabela 9 - Valores médios de densidade e razão de compactação dos painéis homogêneos

Tratamento	Densidade (kg/m ³)	Razão de Compactação
1 (E ₁₀₀ P ₀₀)	716 ab (4,31)	0,97 c (4,38)
2 (E ₇₅ P ₂₅)	701 abc (5,63)	1,05 c (5,73)
3 (E ₅₀ P ₅₀)	691 bc (7,87)	1,15 bc (7,86)
4 (E ₂₅ P ₇₅)	670 c (5,77)	1,26 b (5,74)
9 (P ₁₀₀)	657 c (6,22)	1,43 a (6,14)
5 (B ₁₀₀ P ₀₀)	766 a (3,65)	1,32 ab (3,76)
6 (B ₇₅ P ₂₅)	748 ab (5,77)	1,36 ab (5,75)
7 (B ₅₀ P ₅₀)	732 ab (8,28)	1,41 a (8,31)
8 (B ₂₅ P ₇₅)	713 b (5,74)	1,45 a (5,87)
9 (P ₁₀₀)	657 c (6,22)	1,43 a (6,14)
Metas		
Densidade nominal	700	
Moslemi (1974) e		1,3 a 1,6
Maloney (1993)		

Legenda: P: *Pinus* spp. E: *Phyllostachys edulis*. B: *Phyllostachys bambusoides*. Coeficiente de variação (CV) entre parênteses. Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade. Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

Verifica-se diferença estatística entre os valores médios de densidade dos tratamentos, e também desvios em relação à densidade nominal pré-estabelecida. Apesar das diferenças encontradas, os valores médios de densidade dos painéis de todos os tratamentos se enquadram como de média densidade, conforme intervalos estabelecidos pelas normas CS 236-66 (1968) e a ANSI A208.1 (2009), 600 a 800 kg/m³ e 640 a 800

kg/m³, respectivamente. Contudo, perante as normas NBR 14810 (2013) e a EN 312-2 (2003), que preconizam intervalo de 551 a 750 kg/m³ para tal classificação, o tratamento 5 (B₁₀₀P₀₀, 766 kg/m³) acabou ficando acima da especificação. Ainda segundo a norma CS 236-66 (1968), a densidade dos painéis não pode ultrapassar variação maior que 10%; sendo assim todos os tratamentos atenderam a exigência.

Denota-se que os valores de densidade, tanto nos tratamentos envolvendo partículas de *Phyllostachys edulis*, quanto nos de *Phyllostachys bambusoides*, diminuem à medida que são incorporadas partículas de *Pinus* spp. Este fato pode ser justificado pela menor densidade da madeira de *Pinus* spp., que por consequência, acaba necessitando de maior volume de partículas no colchão e, segundo Moslemi (1974), na maior liberação de tensões de compressão após a liberação da pressão na etapa de prensagem a quente.

As diferenças em relação à densidade nominal de 700 kg/m³ estão relacionadas, segundo Iwakiri (2005) as especificidades das condições laboratoriais em relação ao processo industrial, principalmente no que tange a distribuição das partículas durante a formação do colchão, acabando por influenciar na diferença de densidade entre tratamentos, dentro do mesmo tratamento e ainda dentro de um mesmo painel. O mesmo autor ainda complementa que, a alteração da densidade pode ser imposta por perdas de materiais durante as etapas de retirada de partículas da encoladeira, formação e transporte do colchão até a prensa. Eleotério (2000) cita também que, durante a prensagem, pode ocorrer uma dispersão da massa para uma área maior que a projetada para o painel, gerando um painel com maiores dimensões em largura e menor quantidade de partículas por unidade de volume.

Com a observação da variação de densidade, fez-se necessário, no momento da análise das propriedades de estabilidade dimensional dos painéis e das propriedades mecânicas dos mesmos, determinar a densidade de cada corpo

de prova, para que durante a aplicação da ferramenta estatística, fosse possível utilizá-la como uma covariável, pois a mesma poderia interferir diretamente nos resultados.

O fenômeno de variação da densidade efetiva dos painéis em relação a nominal também foi constatado por diversos autores, podendo-se citar Morais (2011), que projetou para painéis de bambu, pinus e eucalipto, densidade nominal de 650 kg/m³ e encontrou densidade efetiva entre 642 e 655 kg/m³; Miskalo (2009) com painéis de *Dendrocalamus giganteus* com densidade nominal de 700 kg/m³ e densidade efetiva no intervalo de 770 a 880 kg/m³. Painéis compostos por diversas espécies florestais (*Pinus taeda*, *Eucalyptus saligna*, *Mimosa scabrella* e *Hovenia dulcis*) do estudo de Sanches (2012) também apresentaram variação quanto à densidade nominal em relação à efetiva, de 650 kg/m³ para intervalo entre 610 e 680 kg/m³.

Na razão de compactação também foi constatada diferença estatística entre os tratamentos, na qual, os painéis compostos com maiores proporções de partículas de *Pinus* spp. (menor densidade da madeira), se apresentaram com as maiores razões de compactação, demonstrando uma relação inversa ao encontrado para densidade.

Deste modo, os valores médios apresentados na Tabela 9, demonstram que conforme há a adição de partículas de bambu na composição do painel, a tendência é a diminuição da razão de compactação; isso se deve principalmente pela densidade do bambu ser superior ao *Pinus* spp. A relação inversamente proporcional entre a densidade básica e a razão de compactação também foi demonstrada por autores como Iwakiri *et al.* (2012a) em pesquisa sobre espécies tropicais de diferentes densidade, Cunha *et al.* (2014) pesquisando a utilização de partículas de espécies de eucalipto com diferentes densidades básicas e Trianoski *et al.* (2013) estudando a adição de *Criptomeria japonica* aos painéis de pinus.

Os painéis produzidos com partículas de *Phyllostachys edulis* não se enquadram ao considerado como ideal por

Moslemi (1974) e Maloney (1993), ficando abaixo de 1,3 a 1,6. Já nos painéis compostos por partículas de *Phyllostachys bambusoides*, todos os tratamentos ficaram dentro do limite especificado.

De acordo com Tsoumis (1993), a baixa razão de compactação pode ter como consequência uma baixa área de contato entre as partículas, prejudicando a densificação e a qualidade dos painéis. A baixa razão de compactação encontrada nos painéis com *Phyllostachys edulis*, segundo Mendes (2001), pode levar a alterações de variáveis no processo, como aumento da quantidade de adesivo.

4.2.1.2 Painéis multicamadas

Na Tabela 10 são apresentados os valores médios referentes à densidade e à razão de compactação dos painéis multicamadas, com seus respectivos coeficientes de variação. Observa-se que os valores de densidade variaram de 697 ($B_{25}P_{50}B_{25}$) a 769 kg/m³ ($E_{25}P_{50}E_{25}$) e a razão de compactação de 1,19 ($E_{25}P_{50}E_{25}$) a 1,39 ($B_{25}P_{50}B_{25}$), com diferença estatística significativa entre todos os tratamentos e entre as composições formadas por *Pinus* spp. e *Phyllostachys edulis* nas camadas do miolo e superfície.

Tabela 10 - Valores médios de densidade e razão de compactação dos painéis multicamadas (Continua)

Tratamento	Densidade (kg/m³)	Razão de Compactação
10 ($P_{25}E_{50}P_{25}$)	769 a A (1,88)	1,29 b A (1,90)
11 ($E_{25}P_{50}E_{25}$)	715 b B (6,90)	1,19 c B (6,87)
12 ($P_{25}B_{50}P_{25}$)	697 b A (4,97)	1,34 a A (5,12)
13 ($B_{25}P_{50}B_{25}$)	718 ab A (7,33)	1,39 a A (7,28)

Tabela 10 - Valores médios de densidade e razão de compactação dos painéis multicamadas (Conclusão)

Tratamento	Densidade (kg/m ³)	Razão de Compactação
14 (P ₂₅ C ₅₀ P ₂₅)	728 ab A (6,23)	1,30 ab A (6,28)
15 (C ₂₅ P ₅₀ C ₂₅)	723 ab A (7,93)	1,30 ab A (8,02)
Meta		
Densidade nominal	700	
Moslemi (1974) e Maloney (1993)		1,3 a 1,6

Legenda: P: *Pinus* spp. E: *Phyllostachys edulis*. B: *Phyllostachys bambusoides*. C: Combinação. Coeficiente de variação (CV) entre parênteses. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade. Letras maiúsculas denotam diferença estatística entre painéis de mesma matéria-prima. Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

Os valores encontrados para densidade dos painéis multicamadas também divergiram da densidade nominal previamente calculada de 700 kg/m³. Entretanto, se enquadram como de média densidade segundo as normas CS 236-66 (1968) e ANSI A208.1 (2009); já em relação a NBR 14810 (2013) e EN 312-2 (2003), os painéis do tratamento 10 (P₂₅E₅₀P₂₅) acabaram ficando acima do estabelecido pelas normas referenciadas.

Comparando-se de forma específica os tratamentos compostos por partículas de *Pinus* spp. e espécies do gênero *Phyllostachys* nas camadas de superfície miolo e vice versa, verifica-se que houve diferença estatística somente entre os tratamentos 10 (P₂₅E₅₀P₂₅) e 11 (E₂₅P₅₀E₂₅), com valores de densidade média de 769 kg/m³ e 715 kg/m³, o que possivelmente seja relativo à grande diferença de densidade entre as duas espécies (460 kg/m³ e 735 kg/m³) o que reflete em uma maior liberação das tensões após a retirada da pressão na etapa de prensagem à quente no tratamento 10 (P₂₅E₅₀P₂₅), onde as

partículas de *Pinus* spp. de menor densidade se encontram distribuídas na superfície do painel.

Para razão de compactação dos painéis multicamadas, se observa diferença estatística entre os tratamentos, porém sem uma relação entre partículas de *Pinus* spp. e do gênero *Phyllostachys* distribuídas no miolo e na superfície dos painéis. Quanto ao intervalo recomendado por Moslemi (1974) e Maloney (1993) para que se tenha bom contato entre as partículas das espécies e bom desempenho sobre a qualidade das propriedades físicas e mecânicas dos painéis, somente os painéis dos tratamentos formados por *Phyllostachys edulis* e *Pinus* spp. ficaram fora do especificado.

Comparando-se os painéis entre tratamentos similares nas camadas e miolo e superfície, é possível observar que os painéis que se diferenciaram entre si foram os compostos por partículas de *Phyllostachys edulis* (camada interna e externa). Com isso fica evidente que, diferentemente dos painéis homogêneos, os painéis multicamadas sofreram influência da densidade do painel, já que a densidade do material é a mesma para os painéis comparados.

4.2.2 Perfil de densidade

4.2.2.1 Painéis homogêneos

Os valores encontrados para densidade média, densidade máxima superior, densidade mínima e densidade máxima inferior dos painéis homogêneos por meio do ensaio de perfil de densidade estão apresentados na Tabela 11, juntamente com os coeficientes de variação que podem ser considerados como baixos, de acordo com o exposto por Ferreira (1996). As análises gráficas dos perfis de densidade estão apresentadas no Apêndice C – Figura 35, onde cada curva no gráfico representa um perfil de sete amostras obtidas de cada painel.

Tabela 11 - Valores médios do perfil de densidade dos painéis homogêneos

Tratamento	Perfil de densidade (kg/m^3)			
	Média	Máxima superior	Mínima	Máxima inferior
1 (E ₁₀₀ P ₀₀)	647 a (1,52)	707 a (11,87)	632 a (9,26)	697 a (1,86)
2 (E ₇₅ P ₂₅)	648 a (2,46)	736 a (2,00)	620 a (1,38)	723 a (1,33)
3 (E ₅₀ P ₅₀)	669 a (2,85)	764 a (4,60)	620 a (2,23)	759 a (4,40)
4 (E ₂₅ P ₇₅)	657 a (4,85)	799 a (4,10)	616 a (5,45)	797 a (5,70)
9 (P ₁₀₀)	685 a (1,40)	814 a (9,12)	616 a (2,27)	813 a (6,78)
5 (B ₁₀₀ P ₀₀)	655 a (2,82)	726 a (5,05)	654 a (4,68)	721 a (5,15)
6 (B ₇₅ P ₂₅)	636 a (2,59)	721 a (2,36)	600 a (1,33)	723 a (2,43)
7 (B ₅₀ P ₅₀)	686 a (6,52)	805 a (6,69)	638 a (5,72)	796 a (6,39)
8 (B ₂₅ P ₇₅)	665 a (3,18)	797 a (2,14)	608 a (2,48)	754 a (8,08)
9 (P ₁₀₀)	685 a (1,40)	814 a (9,12)	616 a (2,27)	813 a (6,78)

Legenda: P: *Pinus* spp. E: *Phyllostachys edulis*. B: *Phyllostachys bambusoides*. Coeficiente de variação (CV) entre parênteses. Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade. Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

Avaliando-se o perfil de densidade de todos os tratamentos homogêneos, constata-se a ausência de diferença estatística entre os tratamentos nas três diferentes posições ao longo da espessura do painel, no entanto, verifica-se uma densidade maior nas camadas da superfície e menos na parte central dos painéis, formando desta forma um perfil em “M”, o que é característico deste tipo de produto reconstituído.

Segundo Trianoski (2010) a diferença entre a densidade máxima e a mínima para painéis industriais deve estar entre 20% e 35%. Com isso, é possível denotar que para os painéis com maiores proporções de *Phyllostachys edulis* (tratamentos 1 (E₁₀₀P₀₀) e 2 (E₇₅P₂₅)) não chegaram a diferença mínima de 20%, mesma tendência para os painéis produzidos só com partículas

de *Phyllostachys bambusoides* (tratamento 5 ($B_{100}P_{00}$)); demais tratamentos permaneceram dentro do intervalo de 20% a 35%. Esse comportamento foi semelhante ao estudo de Marinho *et al.* (2013), que estudando painéis de fibras do bambu *Dendrocalamus giganteus*, encontrou para 4 tratamentos compostos por bambu, gradiente de densidade máxima e mínima superior a 20%.

Ainda de acordo com Trianoski (2010), a diferença entre as densidades máxima e mínima tem relação direta com a densidade básica das espécies utilizadas. Em espécies de menor densidade básica, neste trabalho as partículas de *Pinus spp.*, o volume de material é maior para compor o colchão, assim as camadas superficiais se tornam mais maleáveis pela menor plasticização, e como consequência possuem maior densificação; simultaneamente a camada mais interna é mais resistente à prensagem, aumentando a diferença de densidade entre o miolo e a face.

4.2.2.2 Painéis multicamadas

Os valores encontrados para perfil de densidade dos painéis multicamadas estão apresentados na Tabela 12 e nos gráficos apresentados no Apêndice D – Figura 36, onde são observadas diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos; sendo que os tratamentos compostos por painéis com partículas de *Pinus spp.* nas camadas externas apresentaram, de modo geral, maiores médias para todas as densidades estudadas ao longo da espessura. Além disso, a amplitude entre densidade mínima e máxima também é superior nos painéis produzidos com *Pinus spp.* nas camadas externas, já que a madeira da espécie possui menor densidade básica em relação aos bambus, proporcionando maior densificação do material.

Tabela 12 - Valores médios do perfil de densidade dos painéis multicamadas

Tratamento	Perfil de densidade (kg/m^3)							
	Média	Máxima superior	Mínima	Máxima inferior				
10 (P ₂₅ E ₅₀ P ₂₅)	701 a A (0,78)	835 a A (3,84)	666 a A (0,90)	852 a A (4,39)				
11 (E ₂₅ P ₅₀ E ₂₅)	658 ab B (3,83)	778 ab A (6,13)	609 bc B (0,98)	753 bc B (4,79)				
12 (P ₂₅ B ₅₀ P ₂₅)	660 ab A (0,31)	821 a A (1,71)	613 bc A (0,28)	808 ab A (3,65)				
13 (B ₂₅ P ₅₀ B ₂₅)	633 b A (3,19)	697 b B (4,70)	581 c A (3,35)	703 c A (4,49)				
14 (P ₂₅ C ₅₀ P ₂₅)	685 a A (3,26)	822 a A (3,97)	634 ab A (2,80)	827 ab A (3,39)				
15 (C ₂₅ P ₅₀ C ₂₅)	662 ab A (2,59)	727 b B (2,31)	603 bc A (3,51)	765 bc B (3,21)				

Legenda: P: *Pinus* spp. E: *Phyllostachys edulis*. B: *Phyllostachys bambusoides*. C: Combinação. Coeficiente de variação (CV) entre parênteses. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade. Letras maiúsculas denotam diferença estatística entre painéis de mesma matéria-prima. Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

Isso fica mais evidente, quando se isola estatisticamente os tratamentos formados por painéis com mesmas espécies em diferentes posições de camadas (miolo e superfície), sendo possível mencionar que, em pelo menos uma das densidades (média, máxima superior, mínima ou máxima inferior) é mais elevada quando as partículas de bambu compõem a camada interna e *Pinus* spp. a camada externa.

As diferenças nas médias de densidades nas camadas superficiais podem influenciar nas propriedades dos painéis; sendo que altas densidades nas faces (picos de densidade maiores), podem ser resultado de maiores pressões iniciais que promovem maior densificação, e segundo Kollmann *et al.* (1975), resultam em maior estabilidade dimensional e resistência a flexão estática, entretanto painéis com baixas densidades nas faces (picos de densidade menores) indicam, de acordo com Belini *et al.* (2009), além de menor consolidação do painel, superfície mais porosa, que no acabamento superficial acaba por demandar maior quantidade de produto. Maloney (1989) relata que a densidade mínima também é fator importante principalmente com relação às propriedades de arranque de parafuso e tração perpendicular, uma vez que existe ligação significativa e positiva entre essas variáveis.

Levando em consideração o atendimento ao requisito de variação de densidade máxima e mínima, todas as médias dos painéis multicamadas se mantiveram entre 20% e 35%.

4.2.3 Espessura e teor de umidade

4.2.3.1 Painéis homogêneos

Os valores médios encontrados para espessura e teor de umidade dos painéis homogêneos estão apresentados na Tabela 13, na qual observa-se que os resultados variaram em espessura de 16,45 mm ($E_{25}P_{75}$) a 17,00 mm (P_{100}) para espessura e de 9,71% ($B_{75}P_{25}$) a 12,67% (P_{100}) para o teor de umidade.

Tabela 13 - Valores médios de espessura e teor de umidade dos painéis homogêneos

Tratamento	Espessura (mm)	Teor de umidade (%)
1 (E ₁₀₀ P ₀₀)	16,83 b (1,64)	10,54 bc (1,92)
2 (E ₇₅ P ₂₅)	16,91 b (0,87)	10,88 ab (1,84)
3 (E ₅₀ P ₅₀)	16,87 b (1,57)	11,41 a (1,64)
4 (E ₂₅ P ₇₅)	16,45 a (1,04)	10,37 c (1,36)
9 (P ₁₀₀)	17,00 b (1,09)	12,67 a (2,15)
5 (B ₁₀₀ P ₀₀)	16,60 bc (2,38)	9,83 cd (0,83)
6 (B ₇₅ P ₂₅)	16,28 ab (0,84)	9,71 d (1,82)
7 (B ₅₀ P ₅₀)	16,12 a (1,74)	10,43 ab (1,89)
8 (B ₂₅ P ₇₅)	16,81 cd (2,02)	10,18 bc (3,22)
9 (P ₁₀₀)	17,00 d (1,09)	12,67 a (2,15)
Meta		
Espessura stops	15,50	
NBR 14810 (2013)		5,00 a 13,00
ANSI A208.1 (2009)		máximo de 10,00%

Legenda: P: *Pinus* spp. E: *Phyllostachys edulis*. B: *Phyllostachys bambusoides*. Coeficiente de variação (CV) entre parênteses. As médias da espessura seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade. As médias do teor de umidade seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Kruskal Wallis ao nível de 95% de probabilidade.

Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

Observa-se diferença estatística entre a espessura dos painéis dos tratamentos analisados, principalmente nos tratamentos que envolvem partículas de *Pinus* spp. e *Phyllostachys bambusoides*, e também aumento da espessura em relação aos *stops* de 15,50 mm utilizados para delimitação dessa dimensão na etapa de prensagem. Apesar da diferença estatística, a variação numérica entre todos os painéis homogêneos não foi superior a 0,88 mm, e está intimamente

ligada a liberação das forças de compressão que são geradas durante o processo de prensagem (FREIRE *et al.*, 2011).

Mendes (2010) relata que a altura do colchão de partículas na etapa de prensagem influencia diretamente a espessura do painel, que segundo o autor, quanto maior a altura do colchão maior será a tensão de compressão atuante sobre o painel e maior será o retorno da espessura.

Essa tendência não foi observada no presente estudo; analisando-se somente a espessura dos painéis de partículas de madeira e do bambu *Phyllostachys edulis*, observa-se que o tratamento 9 (P₁₀₀) que possui a maior altura de colchão (espécie de menor densidade básica) foi semelhante aos painéis de menores alturas (1 (E_{100P00}), 2 (E_{75P25}) e 3 (E_{50P50})), sendo diferente apenas do tratamento 4 (E_{25P75}). Da mesma forma, ocorre com os painéis de madeira de *Pinus* spp. comparados aos painéis com partículas de bambu *Phyllostachys bambusoides*; apesar da diferença numérica, o tratamento 7 (B_{50P50}) foi o que menos retornou em espessura.

A espessura final também pode estar ligada ao espalhamento das partículas do colchão além dos espaçadores *stops*, pois maiores alturas do colchão tendem a espalhar mais as dimensões na seção transversal do painel no processo de fechamento da prensa, o que diminui a espessura final, o que pode ter contribuído para menores espessuras dos painéis com partículas de *Phyllostachys bambusoides* em relação aos painéis com *Phyllostachys edulis*.

França (2015) em seu estudo com painéis de partículas e fibras resinadas de *Pinus* spp., obteve diferença estatística em relação a espessura em painéis homogêneos produzidos com 12% de resina uréia formaldeído, no qual a média ficou em 15,94 mm, acima dos espaçadores de 15,50 mm.

Para o teor de umidade dos painéis, também é observada diferença estatística nos dois grupos de painéis homogêneos. Quando comparados às normas, o primeiro grupo de painéis de todos os tratamentos ficaram dentro do limite da norma NBR

14810 (2013). Já quando equiparados a norma ANSI A208.1 (2009) todos os painéis ficaram com teor de umidade final acima do recomendado. O segundo grupo de tratamentos também respondeu a norma NBR 14810 (2013), enquanto que para ANSI A208.1 (2009), somente os tratamentos 5 ($B_{100}P_{00}$) e 6 ($B_{75}P_{25}$) ficaram dentro do limite estabelecido.

Com exceção do tratamento 9, composto por 100% de partículas de *Pinus spp.*, todos ficaram abaixo da umidade de equilíbrio da madeira que é de 12%. Weber (2011) justifica que a higroscopícidate é diminuída pela redução da madeira, e nesse caso do bambu, ao nível de partículas, além dos processos de secagem e prensagem a temperaturas elevadas que desestruturam os componentes anatômicos e levam a uma perda da água de constituição. A aplicação de resina e emulsão de parafina também diminuem a higroscopícidate do painel (WU, 1999).

A diferença da umidade de equilíbrio pode ser atribuída a densidade efetiva dos painéis, que segundo autores como Kelly (1977) e Silva *et al.* (2006a), painéis com menores densidades apresentam maiores teores de umidade, sendo o contrário também verdadeiro. Esse fato é evidenciado neste estudo para os dois grupos de painéis homogêneos estudados, no qual os tratamentos com maior densidade apresentaram menor umidade de equilíbrio, enquanto que os de menor densidade o teor de umidade foi mais alto. Zheng *et al.* (2006) explica que painéis com maior densidade resultam em maior área de contato com a umidade do ambiente, o que provoca maior variação de equilíbrio de umidade dos painéis pela umidade relativa do ar.

Algumas pesquisas envolvendo painéis produzidos com partículas de madeira e bambu também avaliaram a umidade de equilíbrio dos painéis. Pode-se citar Melo *et al.* (2015), que verificaram a variação de umidade entre 9,8 e 10,2%, para painéis com associação entre a madeira de *Eucalyptus grandis* e *Bambusa vulgaris* com 1% de emulsão de parafina. Morais (2011), estudou painéis compostos por *Pinus taeda*, *Eucalyptus*

grandis e *Bambusa tuloides*, em que os teores de umidade variaram de 10,1% a 11,9%, Arruda *et al.* (2011) trabalhando com *Guadua magna* produziu painéis puros de bambu com umidade de equilíbrio de 9,02% e Rowell e Norimoto (1988) produziram painéis puros de *Phyllostachys bambusoides* com umidade final do painel de 6,6%, os estudos demonstram o grande gradiente de umidade dos produtos à base de madeira e bambu.

4.2.3.2 Painéis multicamadas

Os valores médios de espessura e teor de umidade dos painéis multicamadas estão na Tabela 14, observa-se que os resultados variaram em espessura de 16,32 mm a 17,00 mm para os tratamentos 12 ($B_{25}P_{50}B_{25}$) e 15 ($C_{25}P_{50}C_{25}$), respectivamente. Para o teor de umidade de 9,50% para o tratamento 13 ($B_{25}P_{50}B_{25}$) a 10,12% para o tratamento 11 ($E_{25}P_{50}E_{25}$).

Tabela 14 - Valores médios de espessura e teor de umidade dos painéis multicamadas

Tratamento	Espessura (mm)	Teor de umidade (%)
10 ($P_{25}E_{50}P_{25}$)	16,44 c B (1,19)	9,78 bc B (1,68)
11 ($E_{25}P_{50}E_{25}$)	16,88 ab A (0,93)	10,12 a A (1,27)
12 ($B_{25}P_{50}B_{25}$)	16,32 c A (0,74)	10,07 ab A (6,87)
13 ($B_{25}P_{50}B_{25}$)	16,69 b A (1,08)	9,50 c B (1,98)
14 ($P_{25}C_{50}P_{25}$)	16,46 c B (0,49)	9,76 bc A (2,11)
15 ($C_{25}P_{50}C_{25}$)	17,00 a A (1,42)	9,79 bc A (2,09)
Meta		
Espessura stops	15,50	
NBR 14810 (2013)		5,00 a 13,00
ANSI A208.1 (2009)		máximo de 10,00

Legenda: P: *Pinus* spp. E: *Phyllostachys edulis*. B: *Phyllostachys bambusoides*. C: Combinação. Coeficiente de variação (CV) entre parênteses. As médias de espessura seguidas por letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade. As médias do teor de umidade seguidas por letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Kruskal Wallis ao nível de 95% de probabilidade. Letras maiúsculas denotam diferença estatística entre painéis de mesma matéria prima. Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

Apesar da diferença estatística entre a espessura dos painéis multicamadas, a diferença numérica entre os tratamentos foi de 0,68 mm, sendo inferior aos painéis homogêneos. Entretanto, todos os tratamentos também apresentaram retorno da espessura após a liberação da compressão do processo de prensagem, já que todas as médias foram mais elevadas que os espaçadores de 15,50 mm.

Comparando as composições das camadas internas e externas, os painéis com bambu no miolo apresentaram menor diferença de espessura em relação aos painéis com pinus no miolo, com exceção dos painéis com partículas de *Phyllostachys bambusoides*. Apesar dos tratamentos com *Phyllostachys bambusoides* não apresentarem essa diferença estatística entre si, os tratamentos também seguiram a tendência de menor expansão e espessura mais próxima aos *stops*, quando o painel é constituído de bambu na camada mais interna.

A menor expansão da espessura desses painéis pode ser conferida pela maior densificação das camadas da superfície que eram formadas por partículas de *Pinus* spp., conforme visto na Tabela 12 do perfil de densidade dos painéis multicamadas; então as camadas externas mais densificadas podem ter restringido o retorno da espessura após a prensagem. A maior densificação das camadas superficiais também foi fator que limitou o inchamento em espessura de painéis multicamadas do estudo de França (2015).

Poucos são os trabalhos que estudam a variação da espessura em painéis confeccionados em multicamadas. Pode-se citar França (2015) com média dos painéis multicamadas de *Pinus* spp. com 16,25 mm para espessura nominal de 15,50 mm.

Assim como os painéis homogêneos, os painéis multicamadas também apresentaram diferença significativa entre o teor de umidade final dos painéis. Contudo, todos os tratamentos multicamadas se enquadram ao que diz respeito à norma da ABNT NBR 14810 (2013), já no que tange a norma ANSI A208.1 (2009) somente os painéis com umidade estatisticamente superior aos demais (11 ($E_{25}P_{50}E_{25}$) e 12 ($B_{25}P_{50}B_{25}$)) não ficaram dentro do limite da norma, mesmo com a diferença todos os tratamentos se situaram abaixo de 12%, que é a umidade de equilíbrio da madeira.

A comparação da umidade entre as composições das camadas internas e externas, mesmo com diferença estatística entre as composições de bambu no miolo ou na superfície, não demonstrou relação direta com a umidade de equilíbrio. Essa disparidade da umidade dos painéis multicamadas, assim como nos painéis homogêneos, também é conferida pela densidade efetiva dos painéis, independente da espécie de bambu compondo a camada interna ou externa, a variação do teor de umidade segue de forma inversamente proporcional a densidade observada nos painéis.

A diversidade de estudos na literatura a respeito painéis multicamadas envolvendo bambu ainda é escasso, contudo Dinhane (2016) pesquisou painéis multicamadas de bambu *Dendrocalamus giganteus* e fibra de coco obteve teor de umidade mínimo de 8,45% e máximo abaixo de 10,00% e Araújo *et al.* (2014) estudando painéis multicamadas também de *Dendrocalamus giganteus* e casca de café a umidade final variou de 8,09 e 8,81%. Trianoski (2010) estudando diversas espécies de rápido crescimento em associação com *Pinus taeda*, os painéis multicamadas produzidos apresentaram umidade variando entre 9,65 a 10,29%.

4.2.4 Absorção de água em 2 e 24 horas

4.2.4.1 Painéis homogêneos

Os valores médios encontrados nos ensaios de absorção após 2 e 24 horas de imersão em água estão apresentados na Tabela 15. Verifica-se que na primeira etapa do ensaio, os resultados variaram de 16,47% a 39,45%, e após a segunda imersão, de 41,58% a 59,02%.

Tabela 15 - Valores médios de absorção de água dos painéis homogêneos

Tratamento	Absorção de água (%)	
	Após 2 horas	Após 24 horas
1 (E ₁₀₀ P ₀₀)	34,83 b (18,45)	59,02 b (8,80)
2 (E ₇₅ P ₂₅)	28,18 ab (19,62)	50,55 ab (10,30)
3 (E ₅₀ P ₅₀)	25,05 ab (33,20)	43,59 a (13,35)
4 (E ₂₅ P ₇₅)	22,86 a (29,57)	54,53 b (11,71)
9 (P ₁₀₀)	22,07 a (18,86)	54,57 b (9,19)
5 (B ₁₀₀ P ₀₀)	39,45 c (14,25)	58,38 c (11,05)
6 (B ₇₅ P ₂₅)	23,98 ab (17,10)	45,56 ab (25,81)
7 (B ₅₀ P ₅₀)	16,47 a (9,88)	41,58 a (37,87)
8 (B ₂₅ P ₇₅)	25,59 b (20,17)	47,35 ab (32,88)
9 (P ₁₀₀)	22,07 ab (18,86)	54,57 bc (9,19)
Normas		
CSA 0437 (1993)	máximo 10,00	máximo 15,00
FPL* (1987)		entre 5,00 e 50,00

Em que: *Forest Products Laboratory. Legenda: P: *Pinus* spp. E: *Phyllostachys edulis*. B: *Phyllostachys bambusoides*. Coeficiente de variação (CV) entre parênteses. Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade. Valores ajustados por ANCOVA para uma densidade aparente de 695 kg/m³. Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

Analisando os resultados para absorção de água em 2 horas no primeiro conjunto de tratamentos estudados, nota-se que os valores médios dos tratamentos diminuem à medida que se incrementa a quantidade de partículas de *Pinus spp.*, já no segundo conjunto, o comportamento dos painéis não segue o mesmo padrão, tendo em vista que o melhor tratamento foi o 7 (B₅₀P₅₀) com 16,47%, o qual não diferenciou estatisticamente do 6 (B₇₅P₂₅) e do 9 (P₁₀₀) com coeficientes de 23,98% e 22,07%, respectivamente.

Após 24 horas de imersão em água, os resultados encontrados para o primeiro conjunto de tratamentos não seguiram a mesma tendência do ensaio em 2 horas, pois os tratamentos que mais se destacaram foram o 3 (E₅₀P₅₀) e o 2 (E₇₅P₂₅) com coeficientes de 43,59% e 50,55%, respectivamente. Nota-se também, que nesta análise, os tratamentos formados por 100% de partículas de *Phyllostachys edulis* (1(E₁₀₀P₀)) e 100% de *Pinus spp.* (9(P₁₀₀)) foram os que apresentaram os piores coeficientes. Para imersão após 24 horas no segundo grupo, a tendência foi muito semelhante ao ensaio de imersão em 2 horas, com destaque para o tratamento 7 (B₅₀P₅₀) com 41,58% de absorção de água.

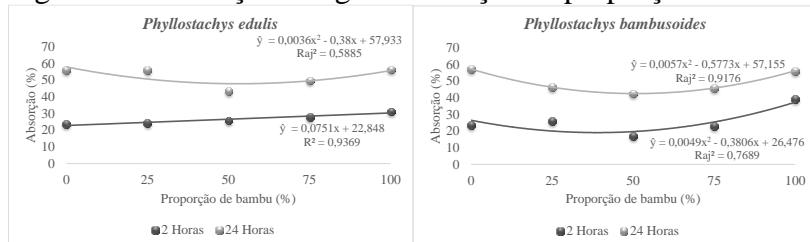
Desta forma, por meio dos resultados e da correlação de Pearson (Apêndice A – Tabela 38) não se encontrou no presente estudo uma relação clara entre a densidade / razão de compactação dos painéis com a variável absorção de água, tendo em vista que os valores médios encontrados não apresentaram tendências equivalentes.

Em relação aos parâmetros de qualidade normatizados, encontra-se somente a norma CSA 0437 (1993) para absorção em 2 horas e 24 horas, onde verifica-se que todos os tratamentos compostos por painéis homogêneos (Tabela 15) ficaram bem acima do recomendado, ou seja, com valores superiores ao dobro do permitido. Tomando-se como referência o intervalo de absorção 24 horas recomendado pelo *Forest Products*

Laboratory (1987), observa-se que para os tratamentos com *Phyllostachys edulis*, somente o 3 ((E₅₀P₅₀) apresentou valor compatível, e para os tratamentos com *Phyllostachys bambusoides*, os três tratamentos com mistura com partículas de *Pinus* spp. (6 (B₇₅P₂₅), 7(B₅₀P₅₀) e 8(B₂₅P₇₅)), acabaram se enquadrando ao recomendado.

Os gráficos apresentados na Figura 17 demonstram por meio das linhas de tendência, que os coeficientes de absorção de água após 2 e 24 horas de imersão em água, que o acréscimo de partículas de *Pinus* spp. até o limite de 50% melhoraram a variável, com exceção dos tratamentos com *Phyllostachys edulis* 2 horas. Outro ponto que reforça esta afirmação é o alto fator de “R”, que demonstra uma correlação forte entre as diferentes composições dos painéis e a absorção de água, com exceção novamente da variável supracitada.

Figura 17 - Absorção de água em função da proporção de bambu



Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

Melo *et al.* (2015) também constataram, em seu estudo sobre a associação entre a madeira de *Eucalyptus grandis* e *Bambusa vulgaris*, maior absorção de água nos painéis produzidos exclusivamente com partículas de bambu quando comparados aqueles com consórcio madeira-bambu, porém os autores constataram que painéis produzidos exclusivamente com partículas de madeira a absorção foi inferior. Entretanto a pesquisa de Vital e Halensein (1988), indica que na mistura entre *Bambusa vulgaris* e a madeira de *Cecropia* sp. em painéis de

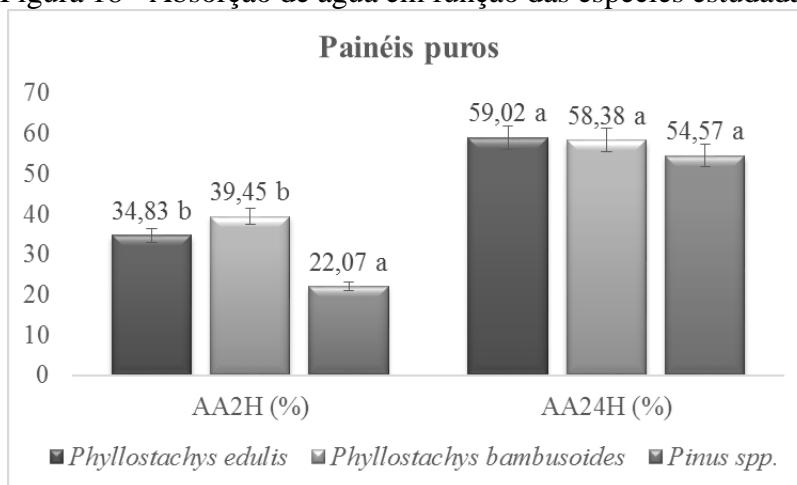
partículas com 10% de resina ureia formaldeído, ocorre o aumento da absorção até a porcentagem de 33,3% de bambu, diminuindo a propriedade física com o aumento até 100%.

Ao analisar a absorção de 2 para 24 horas no tratamento 9 (P_{100}), elaborado somente com partículas de *Pinus* spp., observa-se que houve um aumento mais acentuado em relação aos demais tratamentos. Além disso, a análise comprova que os melhores painéis para as duas espécies foram os compostos por 50% de partículas de bambu e 50% de partículas de *Pinus* spp.

Essa propensão ao comportamento de uma parábola pode ser interpretada pela maior compatibilidade entre as partículas das espécies de bambu com o *Pinus* spp., tendo em vista que, as partículas de menor comprimento de *Pinus* spp. podem melhor acomodar-se junto as partículas mais alongadas de bambu, auxiliando na estabilidade dimensional, uma vez que essa é afetada por partículas de menor comprimento e maior espessura; segundo Moslemi (1974), quando posicionadas verticalmente no colchão tendem a contribuir para maior instabilidade dimensional.

A Figura 18 que faz a relação entre os painéis homogêneos produzidos de forma pura, ou seja, somente com partículas de cada espécie analisada no estudo, indica que para 2 horas de absorção, os painéis de *Pinus* spp. são estatisticamente melhores em relação aos painéis produzidos com bambu. Todavia, após 24 horas, a diferença estatística não é mais encontrada.

Figura 18 - Absorção de água em função das espécies estudadas



Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade. Barras de erro indicam o intervalo de confiança a 95% de probabilidade. Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

Dentre a literatura consultada, apresentada na Tabela 16, somente a pesquisa de Trianoski (2010) com painéis do tipo aglomerado atingiu os valores das normas de comercialização para absorção em 2 e 24 horas, já os demais estudos ficaram aquém dos limites da normatização.

Tabela 16 - Valores médios da literatura de absorção de água para painéis homogêneos (Continua)

Composição	2 horas (%)	24 horas (%)	Referência
<i>Phyllostachys nigra</i>	55,8	-	Dall'igna (2015)
<i>Gigantochloa scorchedinii</i>		34,0	Kasim <i>et al.</i> (2001)
<i>Guadua magna</i>	-	77,1	Arruda <i>et al.</i> (2011)
<i>Bambusa vulgaris</i>	14,2–21,3	65,5-73,8	Calegari <i>et al.</i> (2007)
<i>B. vulgaris</i>	22,9	72,1	Melo <i>et al.</i> (2015)

Tabela 16 - Valores médios da literatura de absorção de água para painéis homogêneos (Conclusão)

Composição	2 horas (%)	24 horas (%)	Referência
<i>B. vulgaris</i> (50% <i>E. grandis</i>)*	15,6	70,5	Melo <i>et al.</i> (2015)
<i>B. tuldaoides</i>	91,5	101,4	Morais (2011)
<i>B. tuldaoides</i> (25% <i>Pinus taeda</i>)*	95,5	110,7	Morais (2011)
<i>B. tuldaoides</i> (50% <i>Pinus taeda</i>)*	99,7	111,1	Morais (2011)
<i>B. tuldaoides</i> (75% <i>Pinus taeda</i>)*	98,7	107,5	Morais (2011)
<i>B. vulgaris</i> **	39,3	60,4	José (2006)
<i>Dendrocalamus gingateus</i> ***	15,0–22,0	29,0–36,0	Miskalo (2009)
<i>D. giganteus</i> ****	4,5–5,5	14,9–28,0	Marinho (2012)
<i>Pinus taeda</i>	7,9	27,8	Trianoski (2010)
<i>Pinus taeda</i>	88,60	100,60	Morais (2011)
<i>Pinus taeda</i>	10,1	43,3	Melo <i>et al.</i> (2015)
<i>Eucalyptus sp.</i>	12,9	66,8	Calegari <i>et al.</i> (2007)

Em que: *painéis em associação de espécies; **com 10% resina poliuretana; ***painéis OSB; ****painéis MDF.

Os resultados obtidos neste estudo com *Phyllostachys edulis* e *Phyllostachys bambusoides* se equipararam as médias encontradas para *Bambusa vulgaris* de Calegari *et al.* (2007) e José (2006), este último com 10% de resina poliuretana à base de óleo de mamona. Morais (2011) trabalhando com a mistura entre *Bambusa tuldaoides* e *Pinus taeda* chegou a valores de absorção muito elevados, porém o autor não utilizou emulsão de parafina na confecção dos painéis.

Outros produtos apresentaram absorção satisfatória, como os painéis de partículas *strand* (OSB) e painéis de fibras de bambu (MDF), produzidos por Miskalo (2009) e Marinho (2012) respectivamente. Os resultados dos painéis de madeira de

Pinus spp. ficaram com estabilidade dimensional intermediários entre os produzidos por Trianoski (2010) e Morais (2011).

4.2.4.2 Painéis multicamadas

Os resultados para a absorção de água após 2 e 24 horas para os painéis multicamadas apresentados na Tabela 17 demonstram que as médias para 2 horas variaram de 18,21% (14 (P₂₅C₅₀P₂₅)) até 35,66% (10 (P₂₅E₅₀P₂₅)) e para 24 horas de 48,71% (12 (B₂₅P₅₀B₂₅)) para 64,88% (11 (E₂₅P₅₀E₂₅)).

Tabela 17 - Valores médios de absorção de água dos painéis multicamadas

Tratamento	Absorção de água (%)	
	Após 2 horas	Após 24 horas
10 (P ₂₅ E ₅₀ P ₂₅)	35,66 c (13,96)	60,98 bc (16,55)
11 (E ₂₅ P ₅₀ E ₂₅)	34,07 c (13,74)	64,88 c (13,43)
12 (P ₂₅ B ₅₀ P ₂₅)	27,13 b (15,30)	48,71 a (14,97)
13 (B ₂₅ P ₅₀ B ₂₅)	19,67 a (22,31)	52,98 ab (8,28)
14 (P ₂₅ C ₅₀ P ₂₅)	18,21 a (33,68)	63,71 bc (23,88)
15 (C ₂₅ P ₅₀ C ₂₅)	24,14 ab (24,31)	62,24 bc (15,14)
Normas		
CSA 0437 (CSA, 1993)	máximo 10,00	máximo 15,00
FPL* (1987)		5,00 a 50,00

Em que: *Forest Products Laboratory. Legenda: P: *Pinus* spp. E: *Phyllostachys edulis*. B: *Phyllostachys bambusoides*. C: Combinação. Coeficiente de variação (CV) entre parênteses. Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade. Valores ajustados por ANCOVA para uma densidade aparente de 684 kg/m³. Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

Verifica-se que houve diferença significativa para a absorção de água em 2 e 24 horas para os painéis multicamadas, sendo que para 2 horas, os resultados apontaram que os melhores

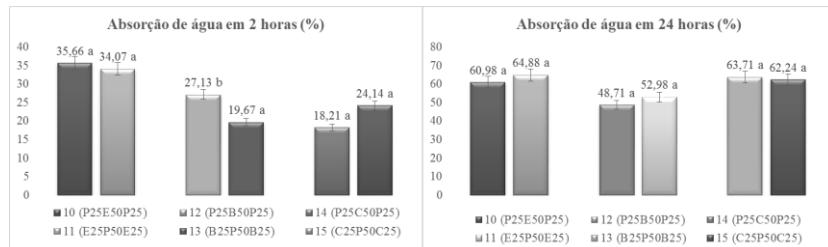
painéis foram compostos por *Phyllostachys bambusoides* na camada externa (13 (B₂₅P₅₀B₂₅)) e pelo tratamento com o mix de bambu na camada interna (14 (P₂₅C₅₀P₂₅)); painéis com partículas de *Phyllostachys edulis* apresentaram os valores mais elevados. Para o ensaio após as 24 horas, os painéis com partículas de *Phyllostachys bambusoides* denotam resultados mais satisfatórios, e os painéis de *Phyllostachys edulis* com maior absorção. Os tratamentos com a combinação de bambu ficaram com valores intermediários, isso acontece em consequência do mix proporcionar características das duas espécies.

Todos os valores médios encontrados foram superiores ao mínimo proposto pela norma comercial CSA 0437 (CSA, 1993); com relação ao *Forest Products Laboratory* (1987) somente o tratamento 12 (B₂₅P₅₀B₂₅) respondeu o exigido.

Embora não haja significância estatística entre os painéis puros de bambu, de maneira geral, as partículas de *Phyllostachys bambusoides* ao serem misturadas ao *Pinus* spp. apresentaram tendência a menor absorção de água quando comparados ao *Phyllostachys edulis*, tanto para painéis homogêneos quanto para as multicamadas, o que expressa a melhor eficiência da resina (adesivo e emulsão de parafina) a essa combinação de materiais.

Na Figura 19, verifica-se a análise estatística isolada para cada combinação de espécies, onde se observa que houve variação estatística somente entre os painéis de *Phyllostachys bambusoides*, com bambu na camada externa apresentando o melhor resultado. No entanto, para 24 horas de absorção não houve influência significativa das espécies nas camadas.

Figura 19 - Absorção de água em função da composição das camadas



Legenda: P: *Pinus* spp. E: *Phyllostachys edulis*. B: *Phyllostachys bambusoides*. C: Combinação. Barras de erro indicam o intervalo de confiança a 95% de probabilidade. Letras denotam diferença estatística pelo teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade entre painéis de mesma matéria prima. Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

A justificativa para resultados semelhantes após as 24 horas de imersão, para os painéis homogêneos e multicamadas, esta na liberação da tensão de compressão pelo maior período de tempo imerso em água, o que tende a tornar a impregnação da água no corpo de prova mais estável. A absorção de água após as 24 horas dos painéis homogêneos tendeu a estabilização entre 41 a 59% e os multicamadas entre 48 a 64%. No entanto, em proporções 50% de partículas de bambu e 50% de *Pinus* spp., os painéis homogêneos apresentaram menor estabilização ao inchamento (41 a 43%) em relação às multicamadas de mesma proporção e espécie, o que pode estar associado a maior interação e complementação entre as partículas de bambu e madeira nos painéis homogêneos, visto que nos painéis multicamadas o contato entre as partículas das espécies acontece somente na interseção entre camadas.

Diversos autores estudando bambu, fizeram uso das espécies como reforço em painéis multicamadas com materiais lignocelulósicos diversos, entre os citados na Tabela 18 nenhum dos estudos conseguiu atender à exigência da norma.

Tabela 18 - Valores médios da literatura de absorção de água para painéis multicamadas

Composição	2 horas (%)	24 horas (%)	Referência
<i>Dendrocalamus giganteus</i>	-	29,9	Dinhane (2016)
<i>Dendrocalamus giganteus</i> (10%FC)*	-	39,8	Dinhane (2016)
<i>Dendrocalamus giganteus</i> (20%FC)*	-	42,5	Dinhane (2016)
<i>Dendrocalamus giganteus</i> (30%FC)*	-	37,9	Dinhane (2016)
<i>Dendrocalamus giganteus</i>	-	29,9	Araújo (2015)
<i>Dendrocalamus giganteus</i> (10%CC)**	-	35,0	Araújo (2015)
<i>Dendrocalamus giganteus</i> (20%CC)**	-	35,2	Araújo (2015)
<i>Dendrocalamus giganteus</i> (30%CC)**	-	34,9	Araújo (2015)
<i>Bambusa vulgaris</i> (60%BC)***	27,5	-	Fiorelli <i>et al.</i> (2015)
<i>Pinus taeda</i>	7,5 – 14,3	24,8 – 49,4	Trianoski (2010)
<i>Pinus taeda</i> ****	28,6 – 41,9	41,8 – 45,4	Longo (2014)
<i>Pinus taeda</i> *****	10,5 – 12,4	31,9 – 39,7	Iwakiri <i>et al.</i> (2012b)

Em que: *painéis em associação com Fibra de Coco na camada interna; **painéis em associação com Casca de Café na camada interna; ***em associação com Bagaço de Cana nas camadas externas; ****painéis em associação com resíduos de espécies tropicais nas camadas externas; *****painéis com diferentes granulometrias nas camadas internas e externas.

As médias para a absorção de água após 24 horas encontradas na literatura se mostraram menores quando comparados aos painéis multicamada bambu-madeira deste estudo.

A justificativa, além do emprego de resíduos da cadeia agropecuária como matéria-prima na produção dos painéis, pode

ser pela utilização de adesivo poliuretano bi-componente à base de óleo de mamona por alguns autores como Dinhane (2016) e Araújo (2015), o que pode ter proporcionado melhora substancial em relação a ureia formaldeído deste estudo e acarretando menor absorção de água.

Painéis à base da madeira de *Pinus taeda* de Trianoski (2010), Longo (2014) e Iwakiri *et al.* (2012b) apresentaram porcentagens de absorção mais próximas as encontradas nesse estudo, principalmente aos painéis multicamadas de *Phyllostachys bambusoides*, porém o *Phyllostachys edulis* e o mix de partículas ainda se mostraram superiores.

Um dos meios para melhoria da absorção de água em painéis de partículas, segundo Sekino e Irle (1996), seria o aumento de temperatura na prensagem à quente, de acordo com os autores as altas temperaturas afetam as partículas de forma a aumentar a acidez e cristalinidade e, consequentemente, diminui a higroscopичidade.

4.2.5 Inchamento em espessura em 2 e 24 horas

4.2.5.1 Painéis homogêneos

Os valores do ensaio de inchamento em espessura, apresentados na Tabela 19, expressam as médias dos tratamentos homogêneos produzidos com as duas espécies de bambu e as partículas de *Pinus* spp., onde é possível verificar intervalos para imersão 2 horas de 4,89% (7 (B₅₀P₅₀)) e 18,01% (8 (B₂₅P₇₅)), e em 24 horas, de 13,00% (7 (B₅₀P₅₀)) e 28,33% (8 (B₂₅P₇₅)).

Tabela 19 - Valores médios de inchamento em espessura dos painéis homogêneos

Tratamento	Inchamento em espessura (%)	
	Após 2 horas	Após 24 horas
1 (E ₁₀₀ P ₀₀)	10,78 ab (12,23)	22,04 ab (14,13)
2 (E ₇₅ P ₂₅)	9,55 a (15,18)	17,06 a (10,74)
3 (E ₅₀ P ₅₀)	9,45 a (25,41)	16,80 a (10,92)
4 (E ₂₅ P ₇₅)	13,61 b (10,59)	25,36 b (20,50)
9 (P ₁₀₀)	11,53 ab (30,74)	19,52 a (23,26)
5 (B ₁₀₀ P ₀₀)	14,17 cd (11,16)	26,54 b (17,49)
6 (B ₇₅ P ₂₅)	9,48 ab (19,81)	15,30 a (19,38)
7 (B ₅₀ P ₅₀)	4,89 a (18,96)	13,00 a (8,44)
8 (B ₂₅ P ₇₅)	18,01 c (24,67)	28,33 b (15,73)
9 (P ₁₀₀)	11,53 b (30,74)	19,52 a (23,26)
Normas		
NBR 14810 (2013)	8,00	18,00
ANSI A208.1 (2009)		40,00
CS 236-66 (1968)		35,00
EN 312-2 (2003)		15,00

Legenda: P: *Pinus* spp. E: *Phyllostachys edulis*. B: *Phyllostachys bambusoides*. Coeficiente de variação (CV) entre parênteses. Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade. Valores ajustados por ANCOVA para uma densidade aparente de 695 kg/m³. Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

Para o inchamento após 2 horas de imersão em água, a análise estatística demonstra que os tratamentos formados por painéis com partículas de *Phyllostachys edulis* / *Phyllostachys bambusoides* e *Pinus* spp. nas proporções de 50% e 75% de bambu, foram os que apresentaram os melhores resultados, ou seja, os menores coeficientes. No entanto, para *Phyllostachys edulis* ainda se tem a equivalência estatística dos tratamentos formados por uma única espécie (1(E₁₀₀P₀₀) e 9 (P₁₀₀)). Para

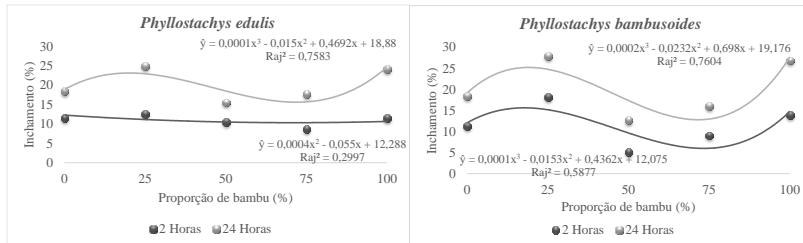
inchamento 24 horas, a tendência se repetiu, porém para o grupo do *Phyllostachys bambusoides* somente houve equivalência do tratamento puro de *Pinus spp.* (9 (P₁₀₀)).

Apenas a NBR 14810 (2013) especifica valores mínimos para inchamento em 2 horas, onde denota-se que somente o tratamento 7 (B₅₀P₅₀) ficou dentro do limite permitido. Quando equipara-se os valores encontrados no presente estudo com as normas que estabelecem limites para inchamento 24 horas, verifica-se que em relação a NBR 14810 (2013), somente 4 tratamentos ficaram dentro do especificado, 2 (E₇₅P₂₅), 3 (E₅₀P₅₀), 6 (B₇₅P₂₅) e 7 (B₅₀P₅₀); enquanto que em relação a EN 312-2 (2003), somente dois do grupo de *Phyllostachys bambusoides*, 6 (B₇₅P₂₅) e 7 (B₅₀P₅₀) apresentaram-se equivalentes. No entanto, tomando-se como referência as normas ANSI A208.1 (2009) e CS 236-66 (1968), observa-se que todos os tratamentos ficaram dentro do limite pré-estabelecido.

Da mesma forma que a absorção de água, pelos resultados e a correlação de Pearson (Apêndice A – Tabela 38) não foi evidenciado relação direta entre o inchamento em espessura e a densidade / razão de compactação dos painéis, com exceção do tratamento 8 (B₂₅P₇₅) que houve influência da razão de compactação. Mais uma vez a explicação se deve pela compatibilidade entre as partículas das espécies de bambu com o *Pinus spp.* As partículas mais alongadas e finas do bambu são complementadas pelas partículas mais curtas e largas da madeira, implicando em melhor acomodação e redução dos espaços vazios, resultando na menor liberação ao inchamento.

A análise de regressão para inchamento em espessura e as proporções das espécies nos painéis (Figura 20), demonstra bons coeficientes para 24 horas, porém para 2 horas, os valores encontrados foram baixos, com 29,97% e 58,77%.

Figura 20 - Inchamento em espessura em função da proporção de bambu



Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

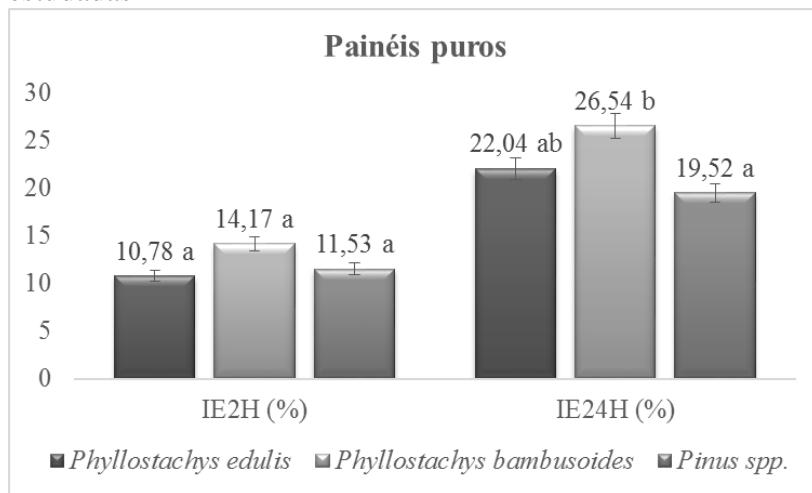
As linhas de tendência para inchamento em espessura 2 e 24 horas não demonstram uma relação clara entre o incremento da quantidade de partículas de bambu nos painéis com as propriedades em análise.

Realizando uma análise conjunta para painéis homogêneos nas variáveis de absorção de água e inchamento em espessura, as quais expressam a estabilidade dimensional dos painéis, pode-se afirmar que os melhores tratamentos foram encontrados na combinação de 50% de partículas de *Phyllostachys edulis* / *Phyllostachys bambusoides* e *Pinus spp.*, tratamentos 3 e 7.

Estudando a influência que a mistura de *Dendrocalamus giganteus* tem em painéis de partículas de *Pinus spp.*, Almeida et al. (2008), encontraram os melhores resultados nos ensaios físicos quando misturados em proporção de 50%/50% de cada espécie. De acordo com os autores, o bambu reduziu o equivalente à metade da absorção de água, por ser material menos higroscópico que o *Pinus spp.*, o que segue a mesma tendência dos resultados apresentados neste estudo.

A Figura 21 expressa a comparação do inchamento em espessura após 2 e 24 horas somente entre os painéis produzidos de forma pura e homogênea das espécies estudadas.

Figura 21 - Inchamento em espessura em função das espécies estudadas



Em que: Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade. Barras de erro indicam o intervalo de confiança a 95% de probabilidade. Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

A análise estatística demonstra que após 2 horas de imersão em água, apesar da diferença numérica, o inchamento em espessura é estatisticamente igual para as três espécies. Entretanto, após a segunda etapa da análise em que os painéis permanecem em água por 24 horas, há significância estatística entre as espécies, onde o painel de madeira de *Pinus spp.* apresentou o menor inchamento, porém com semelhança ao *Phyllostachys edulis* e superior ao *Phyllostachys bambusoides*.

A menor média do inchamento na espessura dos painéis puros de *Pinus spp.* pode estar associada aos altos índices de esbeltez e a razão de planicidade encontradas nas partículas da espécie. Maiores índices de esbeltez (KELLY, 1977; MOSLEMI, 1974) e razão de planicidade (SALDANHA 2004) proporcionam maior estabilidade dimensional; esses índices ocasionam condições de melhor distribuição da resina pelo fato

da maior área de contato entre as partículas, além da possibilidade da maior eficiência da emulsão de parafina aplicada sobre as partículas de madeira em relação às partículas de bambu. O maior teor de extractivos presentes no *Phyllostachys edulis*, conforme apresentado na Figura 14, não atuou na inibição da higroscopidez e consequentemente no inchamento em espessura em relação ao *Phyllostachys bambusoides*, demonstrando não influencia dos componentes químicos nesta variável.

Diversas pesquisas relacionadas a painéis de bambu e em associação com madeira estão descritas na Tabela 20; dentre os consultados que trabalharam com painéis de partículas, somente os valores médios encontrados por Kasim *et al.* (2001) e José (2006) conseguiram ficar abaixo do que especificam as normas NBR 14810 (2013) e a EN 312-2 (2003), o que demonstra a exigência para inchamento em 24 horas das normas. Com relação as demais normas, ANSI A208.1 (2009) e CS 236-66 (1968), todos os estudos ficaram enquadrados nas especificações.

Tabela 20 - Valores médios da literatura de inchamento em espessura para painéis homogêneos (Continua)

Composição	2 horas (%)	24 horas (%)	Referência
<i>Phyllostachys nigra</i>	7,8	-	Dall'igna (2015)
<i>Gigantochloa scorchedinii</i>	-	11,8	Kasim <i>et al.</i> (2001)
<i>Guadua magna</i>	-	21,8	Arruda <i>et al.</i> (2011)
<i>Bambusa vulgaris</i>	3,7–6,5	17,9–24,4	Calegari <i>et al.</i> (2007)
<i>Bambusa vulgaris</i>	13,1	30,0	Melo <i>et al.</i> (2015)
<i>Bambusa vulgaris</i> (50% <i>E. grandis</i>)*	11,4	31,6	Melo <i>et al.</i> (2015)
<i>Bambusa tuldaoides</i>	24,1	29,8	Morais (2011)
<i>Bambusa tuldaoides</i> (25% <i>Pinus taeda</i>)*	24,5	30,2	Morais (2011)

Tabela 20 - Valores médios da literatura de inchamento em espessura para painéis homogêneos (Conclusão)

Composição	2 horas (%)	24 horas (%)	Referência
<i>Bambusa tuldaoides</i> (50% <i>Pinus taeda</i>)*	23,4	27,7	Morais (2011)
<i>Bambusa tuldaoides</i> (75% <i>Pinus taeda</i>)*	21,5	25,1	Morais (2011)
<i>Bambusa vulgaris</i> (10% resina)**	7,7	11,1	José (2006)
<i>Bambusa vulgaris</i> (15% resina)**	5,0	9,0	José (2006)
<i>Dendrocalamus</i> <i>gingateus</i> ***	7,0	11,0	Miskalo (2009)
<i>Dendrocalamus</i> <i>giganteus</i> ****	4,8–6,5	11,3–21,7	Marinho (2012)
<i>Phyllostachys</i> <i>pubescens</i> ****	-	30,0	Li (2004)
<i>Pinus taeda</i>	13,0	18,5	Trianoski (2010)
<i>Pinus taeda</i>	19,0	23,6	Morais (2011)

Em que: *painéis em associação de espécies; **com resina poliuretana; ***painéis OSB; ****painéis MDF

Comparando os resultados, após 2 horas de imersão, as pesquisas com painéis de madeira aglomerada de Dall'igna (2015) com densidade de 604 kg/m³, Calegari *et al.* (2007) com 580 g/m³ e José (2006) com 700 kg/m³, apresentaram valores abaixo aos encontrados neste estudo, exceto para mistura de 50/50 partes bambu (*Phyllostachys edulis*) / madeira. Para 24 horas, Kasim *et al.* (2001) com painéis de densidade 721 kg/m³ e José (2006) apresentaram menor inchamento em espessura, em relação a este estudo. Além das espécies, o tipo de resina do estudo de José (2006) também pode influenciar no menor inchamento em espessura apresentado.

Os painéis produzidos com 100% madeira de *Pinus* spp. apresentaram valores semelhantes a Trianoski (2010) (densidade: 778 kg/m³) e um pouco abaixo de Morais (2011) (densidade: 648 kg/m³), isso pode ser atribuído ao fato do segundo autor não utilizar emulsão de parafina em sua pesquisa.

4.2.5.2 Painéis multicamadas

O inchamento em espessura dos painéis multicamadas apresentaram valores médios que variaram de 10,45% (13 (B₂₅P₅₀B₂₅)) e 16,21% (10 (P₂₅E₅₀P₂₅)) em 2 horas e de 23,88% (12 (B₂₅P₅₀B₂₅)) até 29,08% (14 (P₂₅C₅₀P₂₅)), conforme exposto na Tabela 21.

Tabela 21 - Valores médios de inchamento em espessura dos painéis multicamadas

Tratamento	Inchamento em espessura (%)	
	Após 2 horas	Após 24 horas
10 (P ₂₅ E ₅₀ P ₂₅)	16,21 b (19,97)	24,95 a (16,61)
11 (E ₂₅ P ₅₀ E ₂₅)	15,51 b (20,51)	26,77 a (8,69)
12 (P ₂₅ B ₅₀ P ₂₅)	12,47 ab (11,72)	23,88 a (8,09)
13 (B ₂₅ P ₅₀ B ₂₅)	10,45 a (23,84)	23,79 a (11,83)
14 (P ₂₅ C ₅₀ P ₂₅)	12,12 ab (16,57)	29,08 a (12,07)
15 (C ₂₅ P ₅₀ C ₂₅)	12,61 ab (12,20)	25,48 a (11,08)
Normas		
NBR 14810 (2013)	8,00	18,00
ANSI A208.1 (2009)		40,00
CS 236-66 (1968)		35,00
EN 312-2 (2003)		15,00

Legenda: P: *Pinus* spp. E: *Phyllostachys edulis*. B: *Phyllostachys bambusoides*. C: Combinação. Coeficiente de variação (CV) entre parênteses. Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade. Valores ajustados por ANCOVA para uma densidade aparente de 684 kg/m³. Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

A análise estatística apontou significância entre os tratamentos após 2 horas, sendo o melhor painel composto por *Pinus* spp. na camada interna e *Phyllostachys bambusoides* na camada externa (13(B₂₅P₅₀B₂₅)), seguido pelos painéis com as mesmas espécies compondo as camadas contrárias (14(P₂₅B₅₀P₂₅)), pelos painéis com partículas de *Pinus* spp. na camada interna e combinação das espécies do gênero *Phyllostachys* na externa (14(C₂₅P₅₀C₂₅)) e vice-versa (15(P₂₅C₅₀P₂₅))

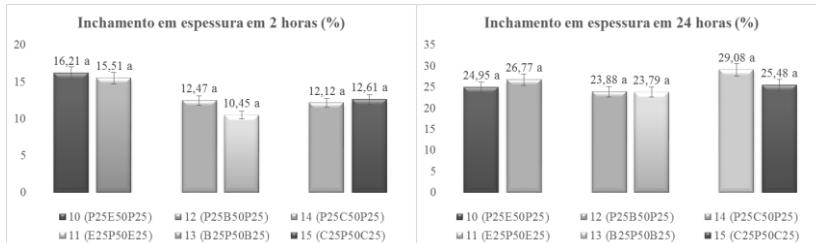
Com relação ao tratamento 13 (B₂₅P₅₀B₂₅), a menor densidade do painel ao longo da espessura, demonstrada na Tabela 12 pelo perfil de densidade, proporcionou menor liberação da tensão de compressão quando exposto a água, fazendo com que apresente o menor valor para inchamento em 2 horas. Novamente os painéis com as misturas entre espécies de bambu ficaram com valores medianos em relação aos demais, isso devido à mistura de características das duas espécies.

Após as 24 horas de imersão em água, os painéis multicamadas apresentaram médias semelhantes, indicando a tendência para estabilidade após o maior tempo em imersão, comprovado também pelos menores valores dos coeficientes de variação nesta etapa do ensaio.

Todos os painéis multicamadas ficaram aquém ao que determinam as normas NBR 14810 (2013) e a EN 312-2 (2003); entretanto tempo os mesmos responderam aos valores exigidos pelas normas de qualidade ANSI A208.1 (2009) e a CS 236-66 (1968).

Em relação as diferentes composições das camadas internas e externas, é possível notar na Figura 22, que as partículas de bambu ou de *Pinus* spp. compondo as diferentes camadas não exerceram influência significativa em 2 ou 24 horas de ensaio de inchamento em espessura.

Figura 22 - Absorção de água em função da composição das camadas



Legenda: P: *Pinus* spp. E: *Phyllostachys edulis*. B: *Phyllostachys bambusoides*. C: Combinação. Barras de erro indicam o intervalo de confiança a 95% de probabilidade. Letras denotam diferença estatística pelo teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade entre painéis de mesma matéria prima. Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

Analisando os resultados das propriedades físicas de inchamento em espessura e absorção de água, verifica-se que as duas variáveis seguem a tendência de homogeneização da estabilidade dimensional com o aumento do tempo do ensaio, o inchamento da espessura para os painéis homogêneos a estabilização tende a ocorrer por volta de 13 a 28% e para os produzidos em multicamada entre 23 a 29%, mostrando menor amplitude devido às proporções entre madeira-bambu ser sempre a mesma nos painéis multicamada.

Na Tabela 22 estão apresentadas as médias para painéis de bambu em multicamadas encontradas na literatura; entre os autores pesquisados, todos que trabalharam com painéis de bambu atingiram inchamento em espessura menor do que expõe todas as normas vigentes de comercialização, com exceção de Longo (2014), que estudando painéis multicamadas de pinus e espécies arbóreas diversas, não atendeu as normas ABNT NBR 14810 (2013) e EN 312-2 (2003).

Tabela 22 - Valores médios da literatura para inchamento em espessura dos painéis multicamadas

Composição	2 horas (%)	24 horas (%)	Referência
<i>Dendrocalamus giganteus</i>	-	7,1	Dinhane (2016)
<i>Dendrocalamus giganteus</i> (10%FC)*	-	6,8	Dinhane (2016)
<i>Dendrocalamus giganteus</i> (20%FC)*	-	8,2	Dinhane (2016)
<i>Dendrocalamus giganteus</i> (30%FC)*	-	7,7	Dinhane (2016)
<i>Dendrocalamus giganteus</i>	-	7,1	Araújo (2015)
<i>Dendrocalamus giganteus</i> (10%CC)**	-	7,6	Araújo (2015)
<i>Dendrocalamus giganteus</i> (20%CC)**	-	7,5	Araújo (2015)
<i>Dendrocalamus giganteus</i> (30%CC)**		8,2	Araújo (2015)
<i>Bambusa vulgaris</i>	3,5	-	Fiorelli <i>et al.</i> (2015)
<i>(60%BC)***</i>			
<i>Pinus spp.****</i>	9,5–14,7	18,0–27,3	Longo (2014)
<i>Pinus taeda*****</i>	4,8–4,9	11,2–12,9	Iwakiri <i>et al.</i> (2012b)

Em que: *painéis em associação com Fibra de Coco na camada interna; **painéis em associação com Casca de Café na camada interna; ***em associação com Bagaço de Cana nas camadas externas; ****painéis em associação com resíduos de espécies tropicais nas camadas externas; *****painéis com diferentes granulometrias nas camadas internas e externas.

As médias de inchamento em espessura presentes nessa pesquisa são mais elevados, quando comparados aos valores encontrados na literatura. A alta variabilidade da estabilidade dimensional entre o estudo e a literatura se deve, além, principalmente das diferentes espécies utilizadas, das diferentes resinas empregadas e a parâmetros durante a produção dos painéis.

Para a melhoria das propriedades físicas de painéis do tipo aglomerado, as formas mais eficientes são o emprego proporções mais elevadas de adesivo e/ou emulsão parafínica, entretanto isso implica em maiores despesas. Outra alternativa é a produção de painéis menos densos, que em contato com água ocasionam menor liberação da compressão no sentido da espessura, resultando em maior estabilidade dimensional. Cunha *et al.* (2014) também indicam a produção de painéis multicamadas que utilizem menor granulometria na superfície para a melhoria da propriedade.

4.2.6 Taxa de não retorno em espessura (TNRE)

4.2.6.1 Painéis homogêneos

Na avaliação da taxa de não retorno em espessura (TNRE), também chamado de inchamento residual ou *springback*, Tabela 23, observa-se valores médios variando de 12,24% a 35,66% para os painéis homogêneos.

Tabela 23 - Valores médios de taxa de não retorno em espessura dos painéis homogêneos

Tratamento	TNRE (%)
1 (E ₁₀₀ P ₁₀₀)	22,23 ab (18,97)
2 (E ₇₅ P ₂₅)	18,81 ab (7,49)
3 (E ₅₀ P ₅₀)	16,78 a (13,12)
4 (E ₂₅ P ₇₅)	34,72 b (24,77)
9 (P ₁₀₀)	17,75 a (15,37)
<hr/>	
5 (B ₁₀₀ P ₁₀₀)	35,66 c (14,09)
6 (B ₇₅ P ₂₅)	18,63 abc (7,45)
7 (B ₅₀ P ₅₀)	12,24 a (19,54)
8 (B ₂₅ P ₇₅)	31,74 bc (25,89)
9 (P ₁₀₀)	17,75 ab (15,37)

Legenda: P: *Pinus* spp. E: *Phyllostachys edulis*. B: *Phyllostachys bambusoides*. Coeficiente de variação (CV) entre parênteses. Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Kruskal Wallis ao nível de 95% de probabilidade. Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

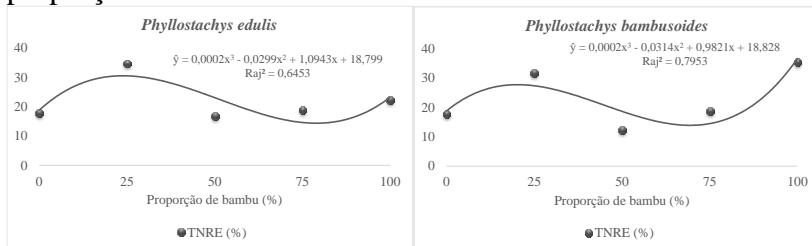
Para o grupo de painéis produzidos com partículas de *Phyllostachys edulis* e *Pinus* spp., observa-se que o único tratamento que se destacou de forma negativa foi o 4 (E₂₅P₇₅) com 34,72% de TNRE, no entanto, foi equivalente estatisticamente aos tratamentos 1(E₁₀₀P₁₀₀) e 2(E₇₅P₂₅). Todavia, o melhor tratamento encontrado para a variável em análise foi o 3 (E₅₀P₅₀) com 16,78%, o qual foi equivalente aos demais com exceção do tratamento 4 (E₂₅P₇₅). Os painéis formados com partículas de *Phyllostachys bambusoides* e *Pinus* spp. apresentaram menor inchamento residual, quando comparados ao primeiro grupo de painéis, sendo o tratamento 7 (B₅₀P₅₀) o que apresentou o melhor valor médio (12,24%), se igualando estatisticamente ao 6 (B₇₅P₂₅) e ao 9 (P₁₀₀).

Constata-se por meio das Tabelas 19 e 23, que os resultados encontrados para TNRE possuem uma correlação com o inchamento em espessura em 2 e 24 horas, ou seja, painéis que apresentaram maior inchamento em espessura após imersão em água, também foram os que mostraram maior inchamento residual. Comportamento também encontrado por Protássio *et al.* (2012), estudando painéis de partículas de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus cloeziana* os quais também encontraram correlação entre a TNRE e a densidade dos painéis, o que não foi evidenciado neste estudo com partículas de bambu.

Além da densidade dos painéis, a TNRE, segundo Matos (1988), sofre influência da umidade das partículas e da aplicação de parafina. Em estudo sobre o efeito de variáveis de processamento nas propriedades de painéis de partículas alongadas, Silva *et al.* (2006b) também encontraram correlação com a porcentagem de adesivo utilizado na formação do painel.

Os modelos ajustados na Figura 23, ilustram a relação entre a TNRE e as proporções das espécies de bambu nos painéis de partículas estudados.

Figura 23 - Taxa de não retorno em espessura em função da proporção de bambu

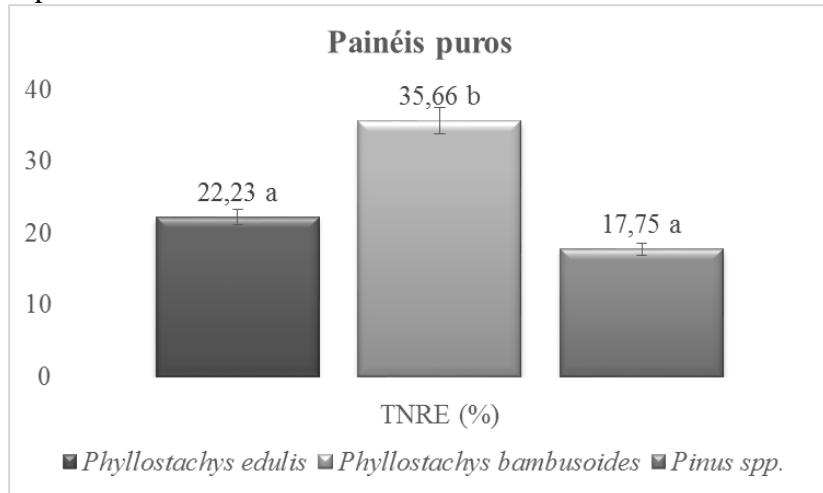


Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

As tendências para a TNRE são semelhantes ao inchamento em espessura, indicando que na adição de 25% de partículas de bambu, o inchamento residual tende a aumentar. Com 50% ocorre a melhora da variável em análise, sendo esta a melhor combinação entre bambu e madeira; a partir desse ponto acontece o aumento novamente na TNRE, obtendo as mesmas justificativas para esse comportamento que o inchamento em espessura.

A comparação entre as espécies por meio dos painéis produzidos de forma pura com as partículas de *Phyllostachys edulis*, *Phyllostachys bambusoides* e *Pinus spp.* está apresentada na Figura 24, onde é possível observar semelhança estatística entre os painéis da primeira espécie de bambu e os formados exclusivamente por partículas de *Pinus spp.*

Figura 24 - Taxa de não retorno em espessura em função das espécies estudadas



Em que: Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Kruskal Wallis ao nível de 95% de probabilidade. Barras de erro indicam o intervalo de confiança a 95% de probabilidade. Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

Iwakiri e Júnior (1990) pesquisando a respeito de painéis de partículas produzidos com diferentes espécies do gênero *Pinus*, entre elas *Pinus taeda*, *Pinus serotina*, *Pinus palustris* e *Pinus glabra*, com 8% de resina uréia formaldeído e densidade nominal de 750 kg/m³, observaram valores médios de TNRE variando de 17,61% a 25,05%, os quais são semelhantes aos painéis puros de *Pinus spp.* deste estudo. Já Mendes *et al.* (2013) avaliando a qualidade de painéis homogêneos de seis diferentes clones de *Eucalyptus urophylla* com 6% de uréia formaldeído e densidade nominal de 600 kg/m³, encontraram médias no intervalo de 25,6% a 36,3%, que são mais elevados aos valores obtidos no presente estudo.

4.2.6.2 Painéis multicamadas

Nos valores encontrados para inchamento residual dos painéis multicamadas, percebe-se que não houve diferença estatística em nenhum dos tratamentos, com médias variando de 26,09% (12 (B₂₅P₅₀B₂₅)) a 34,22% (14 (P₂₅C₅₀P₂₅)), conforme apresentado na Tabela 24.

Tabela 24 - Valores médios de taxa de não retorno em espessura dos painéis multicamadas

Tratamento	TNRE (%)
10 (P ₂₅ E ₅₀ P ₂₅)	29,08 a (11,40)
11 (E ₂₅ P ₅₀ E ₂₅)	29,74 a (13,73)
12 (B ₂₅ P ₅₀ B ₂₅)	26,09 a (15,61)
13 (B ₂₅ P ₅₀ B ₂₅)	33,17 a (20,10)
14 (P ₂₅ C ₅₀ P ₂₅)	34,22 a (18,35)
15 (C ₂₅ P ₅₀ C ₂₅)	33,86 a (14,02)

Legenda: P: *Pinus* spp. E: *Phyllostachys edulis*. B: *Phyllostachys bambusoides*. C: Combinação. Coeficiente de variação (CV) entre parênteses. Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Kruskal Wallis ao nível de 95% de probabilidade. Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

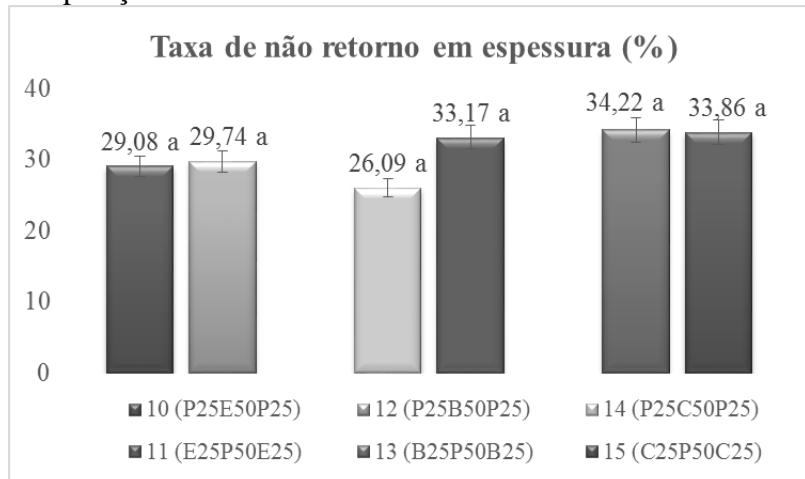
Em termos práticos, os painéis multicamadas liberaram quantidade de tensões semelhantes quando expostos a água e posteriormente a um ambiente climatizado. Esta tendência seguiu o inchamento em espessura em 24 horas (Tabela 21), comprovando a correlação positiva entre as duas variáveis.

A TNRE mais uniforme dos painéis multicamadas obteve tendência a estabilizar entre 26,00% e 34,00%, em contrapartida os painéis homogêneos variaram mais, porém com valores inferiores aos observados nas multicamadas.

Para avaliar a composição das camadas internas e externas, fez-se uso do teste estatístico observado na Figura 25,

no qual nota-se também não haver interferência nas diferentes composições na qualidade do inchamento residual dos painéis de bambu.

Figura 25 - Taxa de não retorno em espessura em função da composição das camadas



Legenda: P: *Pinus* spp. E: *Phyllostachys edulis*. B: *Phyllostachys bambusoides*. C: Combinação. Barras de erro indicam o intervalo de confiança a 95% de probabilidade. Letras denotam diferença estatística pelo teste de Kruskal Wallis ao nível de 95% de probabilidade entre painéis de mesma matéria prima. Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

A pesquisa de Mendes (2001) sobre a influência densidade, composição do painel e teor de resina sobre painéis de partículas orientadas, constatou que a proporção de camadas dos painéis de 1:1 para 1:3:1 não foi fator determinante para qualidade da taxa de não retorno em espessura dos painéis. No entanto, Trianoski (2010) ao observar painéis multicamadas de *Pinus taeda* e espécies tropicais, relatou que houve diferença significativa entre os painéis, porém os melhores resultados apresentados seguiram a tendência de estabilidade antes evidenciada pelo inchamento em espessura.

4.2.7 Módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE)

4.2.7.1 Painéis homogêneos

A partir do ensaio de flexão estática foram obtidos os resultados de módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE), os quais estão representados na Tabela 25 para os dois grupos de painéis homogêneos.

Tabela 25 - Valores médios de módulo de ruptura e elasticidade dos painéis homogêneos

Tratamento	Resistência à flexão estática	
	MOR (MPa)	MOE (MPa)
1 (E ₁₀₀ P ₁₀₀)	7,90 c (38,24)	1488,26 a (31,62)
2 (E ₇₅ P ₂₅)	9,85 bc (29,58)	1463,60 a (16,24)
3 (E ₅₀ P ₅₀)	11,50 ab (24,87)	1595,62 a (19,75)
4 (E ₂₅ P ₇₅)	10,80 bc (13,03)	1481,54 a (16,65)
9 (P ₁₀₀)	14,41 a (20,66)	1745,90 a (19,03)
5 (B ₁₀₀ P ₁₀₀)	7,60 c (29,89)	1243,28 bc (34,03)
6 (B ₇₅ P ₂₅)	10,26 bc (23,31)	1603,92 ab (18,34)
7 (B ₅₀ P ₅₀)	12,36 ab (20,98)	1871,18 a (22,60)
8 (B ₂₅ P ₇₅)	7,84 c (22,57)	1214,58 c (14,66)
9 (P ₁₀₀)	14,41 a (20,66)	1745,90 a (19,03)
NBR 14810 (2013)	11,00	1600
CS 236-66 (1968)	11,00	2403
EN 312 (2003)	13,00	1600
ANSI A208.1 (2009)		
M1	10,00	1550
MS	11,00	1700
M2	13,00	2000
M-3i	15,00	2500

Legenda: P: *Pinus* spp. E: *Phyllostachys edulis*. B: *Phyllostachys bambusoides*. Coeficiente de variação (CV) entre parênteses. Médias

seguidas por letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade. Valores ajustados por ANCOVA para uma densidade aparente de 660 kg/m³. Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

A análise estatística evidenciou diferença significativa para a variável MOR nos dois grupos de painéis estudados, sendo que para o grupo de painéis formados por partículas de *Phyllostachys edulis* e *Pinus* spp., os melhores resultados foram obtidos nos tratamentos 3 (E₅₀P₅₀) e 9 (P₁₀₀) com valores médios de 11,50 MPa e 14,41 MPa, respectivamente. Já o tratamento menos expressivo foi o 1 (E₁₀₀P₁₀₀) com valor de rigidez de 7,90 MPa, o qual teve equivalência estatística com o 2 (E₇₅P₂₅) e com o 4 (E₂₅P₇₅).

Para o segundo grupo de painéis, produzidos com partículas de *Phyllostachys bambusoides* e *Pinus* spp., nota-se comportamento semelhante ao grupo da primeira espécie de bambu, em que os melhores resultados foram apresentados nos tratamentos 7 (B₅₀P₅₀) e 9 (P₁₀₀).

Moslemi (1974) relata que espécies de baixa densidade originam painéis de maior resistência e flexão estática, em virtude de possibilitar maior razão de compactação. Evidencia-se no presente estudo, que a afirmação do autor foi verificada somente para os painéis formados por partículas de *Phyllostachys edulis* e *Pinus* spp.; já para o segundo grupo (*Phyllostachys bambusoides* e *Pinus* spp.), não ficou clara a relação entre as variáveis, tendo em vista que os valores de razão de compactação variaram entre 1,32 e 1,43 e não apresentaram diferença estatística, porém os valores de MOR foram dispersos, sendo os melhores tratamentos o 9 (P₁₀₀) e o 7 (B₅₀P₅₀), e os demais, se apresentando de forma menos expressiva.

Para a variável MOE a estatística evidenciou a semelhança estatística entre todos os tratamentos compostos por *Phyllostachys edulis* e *Pinus* spp., entretanto houve diferença significativa para o segundo grupo de tratamentos de *Phyllostachys bambusoides*, em que os painéis dos tratamentos

6 (B₇₅P₂₅), 7 (B₅₀P₅₀) e 9 (P₁₀₀) foram de melhor qualidade, com o tratamento 8 (B₂₅P₇₅) sendo o tratamento de menor desempenho frente ao ensaio.

Segundo Trianoski (2010), os valores de MOR e MOE à flexão estática são melhorados com o aumento da razão de planicidade das partículas; Saldanha (2004) complementa também que a planicidade das partículas favorece o processo de aplicação da resina, a formação do colchão e área de contato entre as partículas, ou seja, quanto maior a razão de planicidade melhores são as condições de distribuição da resina e maiores são os valores encontrados para as variáveis de resistência e rigidez a flexão estática. De acordo com Vital et al. (1992) e Iwakiri (2005), painéis produzidos com partículas com elevados índices de esbeltez, normalmente apresentam propriedades elevadas no ensaio de flexão estática.

As afirmações referenciadas são observadas para o módulo de ruptura nos dois grupos de painéis produzidos (*Phyllostachys edulis* com *Pinus* spp. e *Phyllostachys bambusoides* com *Pinus* spp.), onde o melhor tratamento foi o 9 (P₁₀₀) com 14,41 MPa, e os piores o 1 (E₁₀₀P₁₀₀) e o 5 (B₁₀₀P₁₀₀) com 7,90 e 7,60 MPa. Salienta-se que as partículas de *Pinus* spp. apresentaram valores de razão de planicidade e índice de esbeltez de 15,9 e 59,5, enquanto que o *Phyllostachys edulis* apresentou 1,7 e 23,5, e o *Phyllostachys bambusoides* 1,7 e 24,4 (Tabela 8). Já para a módulo de elasticidade, não verifica-se uma correlação coerente entre as variáveis, corroborando com a correlação não significativa entre MOE e as variáveis visto na Tabela 39 (Apêndice B).

Hiziroglu et al. (2005), estudando a qualidade de painéis de partícula aglomerada produzidos com diferentes proporções de madeira de *Eucalyptus camaldulensis*, palha de arroz e bambu *Dendrocalamus asper*, verificaram a menor resistência e rigidez mecânica dos painéis com misturas entre espécies quando comparados aos produzidos somente com partículas de madeira. Este fato também foi observado no presente trabalho.

Para a variável MOR, observa-se por meio da comparação com as normas de qualidade, que somente os tratamentos com 100% de partículas de *Pinus* spp. e os produzidos com 50% de partículas de bambu e 50% de *Pinus* spp., atenderam as especificações da NBR 14810 (2013) e da CS 236-66 (1968), enquanto que para a EN 312 (2003), somente o primeiro tratamento (9) atendeu ao parâmetro estabelecido. Em relação a norma ANSI A208.1 (2009), que faz classificação quanto a qualidade dos produtos, verifica-se que os tratamentos 4 ($E_{25}P_{75}$) e 6 ($B_{75}P_{25}$) estão acima do mínimo exigido para a classe M1, o 3 ($E_{50}P_{50}$) e o 7 ($B_{50}P_{50}$) para a classe MS, e o 9 (P_{100}) para a classe M2. A exigência das normas nacional e internacionais perduram para o MOE, em que somente os tratamentos estudados 6 ($B_{75}P_{25}$), 7 ($B_{50}P_{50}$) e 9 (P_{100}) atenderam a NBR 14810 (2013); as classificações da ANSI A208.1 (2009) definiram como M1 o tratamento 3 ($E_{50}P_{50}$) e como MS os painéis dos tratamentos 7 ($B_{50}P_{50}$) e 9 (P_{100}). As demais normas não foram atendidas.

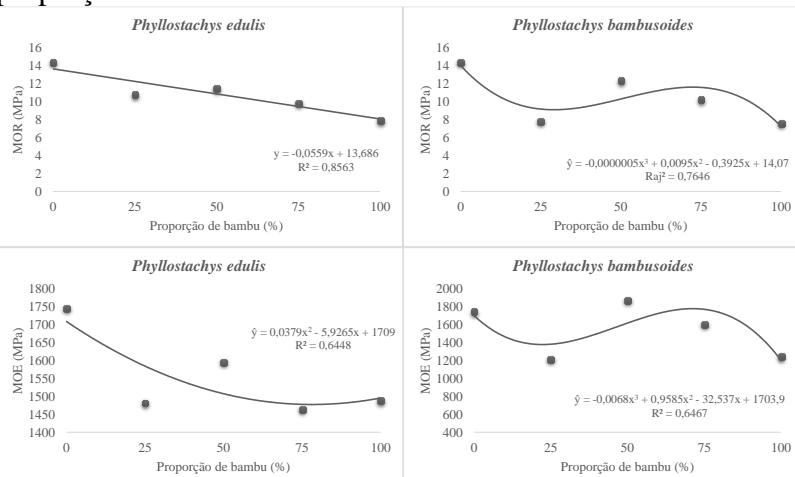
O não atendimento às normas de qualidade também é constatado por diversos estudos de painéis de madeira aglomerada confeccionados com diferentes matérias-primas como *Hymenolobium* sp./*Andira* sp., *Qualea* sp., *Nectandra* sp./*Ocotea* sp, *Cedrelinga cateniformis* e *Mezilaurus itauba* de Longo *et al.* (2015); *Pinus oocarpa* de Scatolino *et al.* (2013); *Pinus taeda* e *Grevillea robusta* de Trianoski (2010) e *Pinus taeda*, *Eucalyptus saligna*, *Mimosa scabrella* e *Hovenia dulcis* de Sanches (2012), que também não atendem as normas de exigência.

Para atendimento da norma e melhora na resistência a flexão estática, Roque (1988), propõe o aumento do teor de adesivo ou a densidade do painel produzido. No entanto, o teor de 12% de adesivo utilizado no estudo é o máximo utilizado comercialmente pelas indústrias; o aumento da porcentagem acarretaria em maior custo de produção. O emprego de outros tipos de adesivos não convencionais, que possam proporcionar

melhora na qualidade sem aumento substancial com gasto de produtividade também é uma possibilidade. O incremento da densidade dos painéis promove o aumento da razão de compactação com melhoria nas propriedades de flexão, principalmente em consideração aos painéis compostos por bambu. Outra alternativa seria o maior controle da geometria das partículas, diminuindo a espessura e, consequentemente, aumentando os valores de resistência e rigidez. Geralmente taxas de prensagem mais elevadas no inicio da consolidação do painel promovem o aumento de MOR e MOE.

A análise de regressão para MOR e MOE em relação a proporção de bambu no painel está apresentada na Figura 26, onde nota-se que as diferentes espécies de bambu quando na combinação com partículas de *Pinus spp.*, não apresentaram comportamento similar.

Figura 26 - Módulos de ruptura e elasticidade em função da proporção de bambu



Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

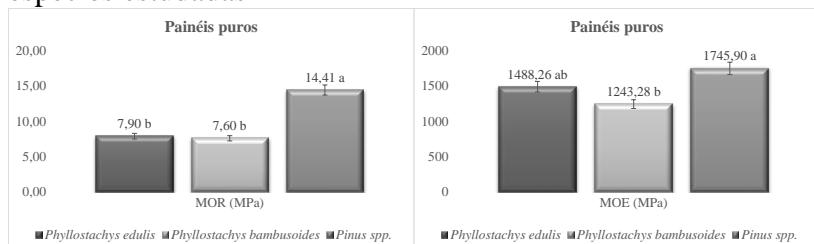
A adição de partículas de *Phyllostachys edulis* tende a diminuir as propriedades de flexão quando é adicionado ao

painel combinado com *Pinus* spp. Para *Phyllostachys bambusoides*, a adição da espécie em 25% diminui a resistência ao MOR, com 50% da espécie a resistência se torna maior, e a partir deste ponto, verifica-se um decréscimo acentuado; a mesma predisposição é observado para o MOE.

O estudo de Vital e Halensein (1988), pesquisando a associação de *Bambusa vulgaris* com *Cecropia* sp. em painéis de partículas produzidos com 7% de adesivo uréia formaldeído, apresentou o melhor resultado para MOR com adição de 33% de bambu, já para MOE a melhor proporção foi de 66% bambu. Seguiu tendência semelhante a esse estudo, em que a mistura das espécies apresentou qualidade superior em relação aos painéis 100% bambu, a exceção foram os painéis compostos por 100% madeira, no caso *Cecropia* sp, que apresentou os valores mais baixos.

A relação entre os painéis homogêneos e puros das três espécies estudadas está apresentada na Figura 27, onde nota-se que os painéis produzidos com partículas de bambu foram equivalentes estatisticamente, porém foram diferentes dos painéis com *Pinus* spp., exceção feita ao painel de *Phyllostachis* e *Pinus* spp. quando comparados com o puro de *Pinus* spp. na variável MOE.

Figura 27 - Módulos de ruptura e elasticidade em função das espécies estudadas



Em que: Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade. Barras de erro indicam o intervalo de confiança a 95% de probabilidade. Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

A justificativa aos painéis de *Pinus* spp. apresentarem maiores médias dos ensaios de flexão estática está relacionada também a geometria de suas partículas, já que o maior índice de planicidade e razão de esbeltez beneficiam o processo de aplicação do adesivo, formação do colchão e o contato entre as partículas, o que melhora a distribuição de cola ao longo do painel.

Todavia, nos painéis das duas espécies de bambu, a diferença de densidade não foi significativa a ponto de alterar de forma positiva ou negativa os ensaios de flexão, visto que as duas espécies apresentaram valores semelhantes entre si.

Estudos da literatura (Tabela 26) registram a potencialidade do bambu, em que painéis puros de diversas espécies e em mistura com madeira proporcionam resultados dentro das delimitações das normas. No entanto, segundo estudos como de Melo *et al.* (2015), Morais (2011) e Stangerlin *et al.* (2010), as médias relativas a ensaio de flexão estática expressam melhores resultados quando ocorre a combinação entre espécies, em relação a painéis puros de bambu.

Tabela 26 - Valores médios da literatura para módulos de ruptura e elasticidades dos painéis homogêneos (Continua)

Composição	MOR (MPa)	MOE (MPa)	Referência
<i>Gigantochloa scortechinii</i>	24,1	3544	Kasim <i>et al.</i> (2001)
<i>Guadua magna</i>	13,4	1819	Arruda <i>et al.</i> (2011)
<i>Bambusa vulgaris</i>	12,2	2250	Calegari <i>et al.</i> (2007)
<i>Bambusa vulgaris</i>	11,2	1343	Melo <i>et al.</i> (2015)
<i>Bambusa vulgaris</i> (50% <i>E. grandis</i>)*	12,7	1804	Melo <i>et al.</i> (2015)
<i>Bambusa vulgaris</i>	-	1285	Stangerlin <i>et al.</i> (2010)
<i>Bambusa vulgaris</i> (25% <i>E. grandis</i>)*	-	1528	Stangerlin <i>et al.</i> (2010)

Tabela 26 - Valores médios da literatura para módulos de ruptura e elasticidades dos painéis homogêneos (Conclusão)

Composição	MOR (MPa)	MOE (MPa)	Referência
<i>Bambusa vulgaris</i> (50% <i>E. grandis</i>)*	-	1662	Stangerlin <i>et al.</i> (2010)
<i>Bambusa vulgaris</i> (75% <i>E. grandis</i>)*	-	1862	Stangerlin <i>et al.</i> (2010)
<i>Bambusa tuldaoides</i>	5,4	747	Morais (2011)
<i>Bambusa tuldaoides</i> (25% <i>Pinus taeda</i>)*	7,5	1045	Morais (2011)
<i>Bambusa tuldaoides</i> (50% <i>Pinus taeda</i>)*	7,0	926	Morais (2011)
<i>Bambusa tuldaoides</i> (75% <i>Pinus taeda</i>)*	8,1	1037	Morais (2011)
<i>Bambusa vulgaris</i> (10% resina)**	8,0	-	José (2006)
<i>Bambusa vulgaris</i> (15% resina)**	8,7	-	José (2006)
<i>Dendrocalamus</i> <i>giganteus</i> ***	11,1	1067	Marinho (2012)
<i>Phyllostachys</i> <i>pubescens</i> ***	17,1	2500	Li (2004)
<i>Pinus taeda</i>	11,1	1581	Trianoski (2010)
<i>Pinus taeda</i>	10,7	1321	Morais (2011)
<i>Eucalyptus grandis</i>	-	2472	Stangerlin <i>et al.</i> (2010)

Em que: *painéis em associação de espécies; **com resina poliuretana; ***painéis MDF.

Traçando um paralelo entre os resultados dos painéis aglomerados de *Phyllostachys edulis* e *Phyllostachys bambusoides* com os apresentados pela literatura, de forma geral, tem-se valores abaixo dos painéis com 100% partículas de bambu dos estudos de Kasim *et al.* (2001), Arruda *et al.* (2011),

Calegari *et al.* (2007) e Melo *et al.* 2015), porém mais elevados aos painéis de Morais (2011).

Comparando as combinações de madeira e bambu do estudo de Stangerlin *et al.* (2010) com *Bambusa vulgaris* e *Eucalyptus grandis* observa-se semelhança aos resultados encontrados para o MOE dos painéis de *Phyllostachys edulis* e *Pinus spp.*, no entanto a combinação de *Bambusa tuloides* e *Pinus taeda* de Morais (2011) se mostraram com médias aquém aos painéis do presente estudo, tanto com partículas do bambu *Phyllostachys edulis* quanto de *Phyllostachys bambusoides*.

Diversos podem ser os fatores que influenciam os valores de MOR e MOE, que vão desde a espécie e densidade da espécie (IWAKIRI, 2005), geometria das partículas (KELLY, 1977), teor e tipo de adesivo (MOSLEMI, 1974), densidade do painel (MALONEY, 1993), razão de compactação (BUFALINO *et al.*, 2012) entre outras variáveis.

4.2.7.2 Painéis multicamadas

A resistência a flexão estática dos painéis multicamadas apresentou para a variável MOR, intervalo de 7,78 MPa a 12,89 MPa, e para MOE de 1182,38 MPa 2117,08 MPa, tratamentos 11 (E₂₅P₅₀E₂₅) e 12 (P₂₅B₅₀P₂₅), respectivamente (Tabela 27).

Tabela 27 - Valores médios de módulos de ruptura e elasticidade dos painéis multicamadas (Continua)

Tratamento	Resistência a flexão estática	
	MOR (MPa)	MOE (MPa)
10 (P ₂₅ E ₅₀ P ₂₅)	12,89 a (23,96)	1876,46 ab (16,73)
11 (E ₂₅ P ₅₀ E ₂₅)	7,78 b (17,22)	1182,38 d (17,63)
12 (P ₂₅ B ₅₀ P ₂₅)	14,39 a (8,52)	2117,08 a (7,20)
13 (B ₂₅ P ₅₀ B ₂₅)	9,67 b (19,77)	1620,76 bc (15,82)
14 (P ₂₅ C ₅₀ P ₂₅)	12,34 a (14,26)	1835,44 ab (13,80)
15 (C ₂₅ P ₅₀ C ₂₅)	8,21 b (15,21)	1373,98 cd (16,25)

Tabela 27 - Valores médios de módulos de ruptura e elasticidade dos painéis multicamadas (Conclusão)

Tratamento	Resistência a flexão estática	
	MOR (MPa)	MOE (MPa)
Normas		
NBR 14810 (2013)	11,00	1600
CS 236-66 (1968)	11,00	2403
EN 312 (2003)	13,00	1600
ANSI A208.1 (2009)		
M1	10,00	1550
MS	11,00	1700
M2	13,00	2000
M-3i	15,00	2500

Legenda: P: *Pinus* spp. E: *Phyllostachys edulis*. B: *Phyllostachys bambusoides*. C: Combinação. Coeficiente de variação (CV) entre parênteses. Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade. Valores ajustados por ANCOVA para uma densidade aparente de 662 kg/m³. Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

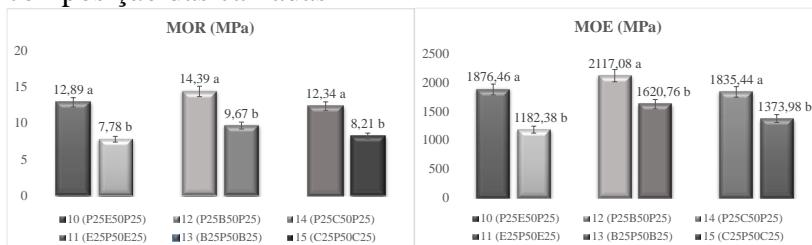
Pela análise estatística, é possível notar dois grupos distintos para a variável MOR entre os painéis multicamadas, onde os painéis produzidos com partículas de *Pinus* spp. nas camadas superficiais apresentaram valores superiores e diferentes da composição inversa. Mesmo comportamento foi observado para os resultados de MOE, com exceção do tratamento com *Phyllostachys bambusoides* nas camadas externas, que ficou intermediário entre os grupos de maior e menor rigidez.

Para MOR os painéis com *Pinus* spp. nas camadas externas atenderem as exigências normativas referentes a NBR 14810 (2013) e a CS 236-66 (1968), a EN 312 (2003) foi atendida somente pelos painéis do tratamento 12 (P₂₅B₅₀P₂₅). O tratamento 12 (P₂₅B₅₀P₂₅), segundo a ANSI A208.1 (2009), ficou classificado como M2 e os demais painéis com *Pinus* spp.

nas camadas externas, 10 ($P_{25}E_{50}P_{25}$) e 14 ($P_{25}C_{50}P_{25}$), como MS. Em relação ao MOE, nenhum dos painéis estudados respondeu a exigência da CS 236-66 (1968), porém os tratamentos 10 ($P_{25}E_{50}P_{25}$), 12 ($P_{25}B_{50}P_{25}$), 13 ($B_{25}P_{50}B_{25}$) e 14 ($P_{25}C_{50}P_{25}$) se mostraram adequados pelas normas NBR 14810 (2013) e EN 312 (2003). A classificação preconizada pela ANSI A208.1 (2009) define o tratamento 13 ($B_{25}P_{50}B_{25}$) como M1, o 10 ($P_{25}E_{50}P_{25}$) e o 14 ($P_{25}C_{50}P_{25}$) como MS e o 12 ($P_{25}B_{50}P_{25}$) o único como M2.

A composição das camadas foi a característica de maior importância para o ensaio de flexão estática dos painéis multicamadas de bambu e madeira de *Pinus spp.*. Assim, a comparação entre as diferentes composições está apresentada na Figura 28.

Figura 28 - Módulos de ruptura e elasticidade em função da composição das camadas



Legenda: P: *Pinus spp.* E: *Phyllostachys edulis*. B: *Phyllostachys bambusoides*. C: Combinação. Barras de erro indicam o intervalo de confiança a 95% de probabilidade. Letras denotam diferença estatística pelo teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade entre painéis de mesma matéria prima. Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

Analizando separadamente, fica ainda mais claro a influência da composição das camadas na qualidade das propriedades de resistência e rigidez, onde denota-se que todos os painéis produzidos com *Pinus spp.* nas camadas superficiais foram superior no MOE e MOR.

Vital *et al.* (1992) explicam que a resistência à flexão é afetada e melhorada pela maior densificação das camadas externas de painéis confeccionados em multicamadas, pois as essas camadas são as que sofrem maior esforço durante as forças de flexão. Então, com a baixa densidade do *Pinus spp.* nas camadas externas proporciona às mesmas uma maior densificação; isso acontece pelo maior volume de material utilizado e consolidado para constituir a camada, comprovado pelo perfil de densidade dos painéis (Tabela 12) que mostra as maiores densidades das camadas superficiais quando a madeira de menor densidade está presente.

De acordo com Iwakiri *et al.* (2005), as indústrias de painéis de partículas de madeira utilizam diferentes materiais nas camadas internas e externas. As camadas do miolo, geralmente são compostas por partículas de maiores dimensõesque nas faces, pois além de melhorar a resistência e rigidez mecânica, confere melhor acabamento superficial ao painel.

Para melhoria das propriedades dos painéis multicamadas em que o bambu forma as camadas mais externas, pode-se aplicar alterações no ciclo de prensagem dos painéis em multicamada com intuito de elevar a densificação das camadas externas. Outra alternativa, pode ser o emprego de melhor controle da granulometria das partículas, de forma a melhorar os índices de esbeltez e razão de planicidade que possuem influência significativa nas propriedades mecânicas.

Alguns autores que pesquisaram a qualidade de painéis de bambu em multicamada estão mencionados na Tabela 28; entre os indicados, a maioria atingiu os limites mínimos determinados pelas normas de comercialização, reforçando a potencialidade da matéria-prima para produção de painéis aglomerados em camadas.

Tabela 28 - Valores médios da literatura dos módulos de ruptura e elasticidade dos painéis multicamadas

Composição	MOR (MPa)	MOE (MPa)	Referência
<i>Dendrocalamus giganteus</i>	17,1	2290	Dinhane (2016)
<i>D. giganteus</i> (10%FC)*	12,4	2100	Dinhane (2016)
<i>D. giganteus</i> (20%FC)*	13,9	2041	Dinhane (2016)
<i>D. giganteus</i> (30%FC)*	15,3	2209	Dinhane (2016)
<i>D. giganteus</i>	17,1	2290	Araújo (2015)
<i>D. giganteus</i> (10%CC)**	13,9	2303	Araújo (2015)
<i>D. giganteus</i> (20%CC)**	13,6	2162	Araújo (2015)
<i>Bambusa vulgaris</i> (60%BC)***	10,5	1045	Fiorelli <i>et al.</i> (2015)
<i>B. vulgaris</i> (50% <i>Pinus oocarpa</i>)	13,9	1636	Teodoro <i>et al.</i> (2016)
<i>Pinus spp.</i> ****	4,39–9,56	921–1375	Longo (2014)
<i>Pinus taeda</i> *****	11,5–201	1945–2488	Iwakiri <i>et al.</i> (2012b)

Em que: *painéis em associação com Fibra de Coco na camada interna; **painéis em associação com Casca de Café na camada interna; ***em associação com Bagaço de Cana nas camadas externas; ****painéis em associação com resíduos de espécies tropicais nas camadas externas; *****painéis com diferentes granulometrias nas camadas internas e externas.

Os painéis multicamadas em que o *Pinus spp.* e o bambu compõem as camadas externas e interna, respectivamente, apresentaram valores médios de MOR próximos aos encontrados por Araújo (2015) com o *Dendrocalamus giganteus*, no entanto quando o bambu compõe a camada interna e *Pinus spp.* as camadas externas, os valores de Longo (2014) se assemelham mais, entretanto a autora trabalhou com proporção de camadas em 20/60/20. Para o MOE as médias encontradas pelos diversos autores, de modo geral, foram mais elevados aos

determinados, com exceção do tratamento 12 ($P_{25}B_{50}P_{25}$) que se aproximou aos analisados.

Na pesquisa de Teodoro *et al.* (2016) avaliando a produção de painéis MDP em três camadas de *Pinus oocarpa* reforçado com 0, 25, 50, 75 e 100% de *Bambusa vulgaris* na camada central, com condições de densidade nominal de 700 kg/m³, com 8% e 11% de UF nas camadas interna e externa respectivamente, os autores concluíram que a adição de bambu ao miolo do painel as propriedades de flexão estática não sofrem alteração significativa, ou seja, o bambu não alterou a qualidade dos painéis de madeira de *Pinus oocarpa*, os valores que os autores encontraram para MOR variou de 13,90 MPa a 17,40 MPa e para MOE de 1636 MPa a 2153 MPa.

4.2.8 Arranque de parafuso

4.2.8.1 Painéis homogêneos

A resistência ao arrancamento de parafuso de topo e superfície dos painéis homogêneos permaneceram entre 652,83 N a 1194 N e de 921 N a 1422 N, respectivamente. Os valores estão expressos na Tabela 29.

Tabela 29 - Valores médios de arranчamento de parafuso de topo e superfície dos painéis homogêneos (Continua)

Tratamento	Arranque de parafuso (N)	
	Topo	Superfície
1 ($E_{100}P_{100}$)	1085,08 ab (46,04)	1287,25 ab (27,33)
2 ($E_{75}P_{25}$)	1181,50 a (30,58)	1307,50 ab (23,01)
3 ($E_{50}P_{50}$)	1105,08 ab (13,34)	1422,00 a (18,51)
4 ($E_{25}P_{75}$)	804,42 b (24,89)	1099,17 b (13,58)
9 (P_{100})	1105,83 ab (27,06)	1313,50 ab (18,10)

Tabela 29 - Valores médios de arranqueamento de parafuso de topo e superfície dos painéis homogêneos (Conclusão)

Tratamento	Arranque de parafuso (N)	
	Topo	Superfície
5 (B ₁₀₀ P ₁₀₀)	998,00 ab (38,61)	1344,83 a (31,26)
6 (B ₇₅ P ₂₅)	1160,17 a (29,03)	1394,75 a (20,33)
7 (B ₅₀ P ₅₀)	1194,83 a (37,71)	1211,42 ab (26,24)
8 (B ₂₅ P ₇₅)	652,83 b (25,32)	921,25 b (13,42)
9 (P ₁₀₀)	1105,83 a (27,06)	1313,50 a (18,10)
Normas		
NBR 14810 (2013)	800	1020
ANSI A 208.1 (2009)		
MS	700	800
M2	800	900
M-3i	900	1000

Legenda: P: *Pinus* spp. E: *Phyllostachys edulis*. B: *Phyllostachys bambusoides*. Coeficiente de variação (CV) entre parênteses. Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Kruskal Wallis ao nível de 95% de probabilidade. Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

O arrancamento de parafuso foi analisado pelo teste de Kruskal Wallis, e por meio deste é possível afirmar que para a resistência no topo dos painéis com *Phyllostachys edulis* e *Pinus* spp., o tratamento 2 (E₇₅P₂₅) foi superior somente em relação ao tratamento 4 (E₂₅P₇₅), enquanto que os demais tratamentos foram equivalentes. Para os painéis de partículas com *Phyllostachys bambusoides* e *Pinus* spp, observou-se superioridade e equivalência semelhante ao primeiro grupo de painéis.

Para o arrancamento de superfície, segue-se de forma geral a mesma tendência, com o melhor tratamento formado por 100% de partículas de *Pinus* spp. e o pior por 25% de *Phyllostachys edulis* / *Phyllostachys bambusoides* e 75% de *Pinus* spp.

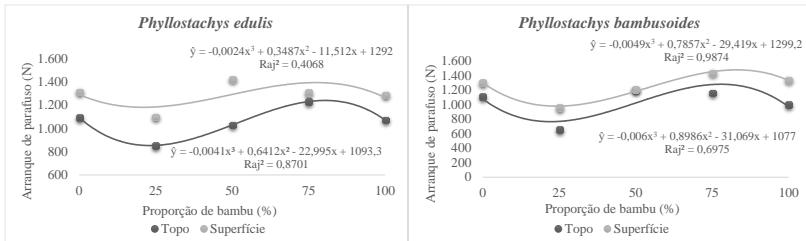
Segundo Moslemi (1974), painéis produzidos com espécies de baixa densidade, apresentam aumento nas propriedades de arrancamento de parafuso, no entanto esse comportamento não foi evidenciado nos painéis homogêneos, visto que o painel de partículas de *Pinus* spp. (espécie de menor densidade) é semelhante estatisticamente aos painéis de partículas de bambu (espécies mais densas). A resistência ao arrancamento de parafusos, explicam Wong *et al.* (1998), também está correlacionado com a densidade média do painel homogêneo.

Os elevados resultados para o arranque de parafuso na superfície em relação ao topo se deve, segundo Weber (2011), ao fato do parafuso estar fixado na camada interna do painel, sendo por isso, dependente da densificação da camada e onde a densidade mínima do painel é atingida, promovendo menor resistência ao arranque do parafuso nessa região. Outro fator que determina essa diferença é o parafuso do topo estar aderido em toda a espessura do painel, o qual alcança toda a densidade dessa dimensão. Fato que foi comprovado no presente estudo, por meio das médias do arranque do parafuso na superfície todos exibirem valores superiores aos arrancados do topo.

De forma geral a qualidade de painéis com a mistura entre os bambus *Phyllostachys edulis* e *Phyllostachys bambusoides* com a madeira de *Pinus* spp. se mostraram satisfatórios, visto que, com exceção do tratamento 8 (B₂₅P₇₅), todos os tratamentos se mostraram superiores ao mínimo exigido pela norma NBR 14810 (2013), tanto para o arranque no topo como na superfície. Com ressalva ao tratamento supracitado, todos os demais foram classificados quanto a norma ANSI A 208.1 (2009) para o arrancamento de topo, o qual o tratamento 4 (E₂₅P₇₅) se enquadrou como M2 e todos os demais em M-3i, o mais alto padrão de qualidade da norma. Para a superfície a classificação da norma indicou que o tratamento 8 (B₂₅P₇₅) ficou como M2 e todos os demais também como M-3i.

Os modelos de regressão ajustados em função do aumento da porcentagem de bambu para os valores de arranque de parafuso no topo e superfície estão apresentados na Figura 29.

Figura 29 - Arranque de parafuso em função da proporção de bambu



Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

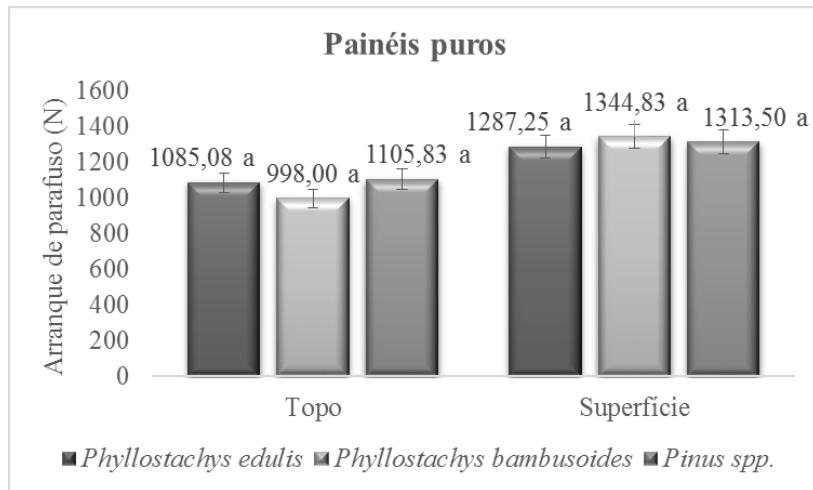
As tendências dos modelos ajustados em função da proporção de bambu no painel de partículas, expressam comportamentos similares entre as espécies e entre o arranque de topo e superfície. Com o acréscimo de 25% de bambu, a capacidade de segurar o parafuso tende a diminuir em topo e superfície, no entanto, a partir desse momento o aumento do percentual de bambu acarreta em aumento da propriedade até 75%, com leve queda para o painel produzido com 100% de partículas de bambu.

Comportamento semelhante foi observado por Vital e Halensein (1988), onde os autores encontraram os melhores resultados para arrancamento de parafuso no topo com o acréscimo de 33% de *Bambusa vulgaris* aos painéis de *Cecropia sp.*, produzidos tanto com 7% e 10% de adesivo. Para o arrancamento na superfície somente foi observado a mesma tendência com 7% de cola, com 10% os autores encontraram os melhores resultados para painéis com 100% partículas de bambu.

A comparação entre os painéis homogêneos confeccionados com as espécies duas espécies de bambu e o

Pinus spp. está disposta na Figura 30; a análise dos dados demonstra semelhança estatística entre as mesmas para o arranque de parafuso do topo e superfície.

Figura 30 - Arranque de parafuso em função das espécies estudadas



Em que: Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Kruskal Wallis ao nível de 95% de probabilidade. Barras de erro indicam o intervalo de confiança a 95% de probabilidade. Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

Calegari *et al.* (2007) também notaram a semelhança estatística para a resistência ao arranque de parafuso entre painéis puros de *Eucalyptus* sp e *Bambusa vulgaris*. Os resultados referentes a diversos autores estão dispostos na Tabela 30. De forma geral, os valores encontrados das diversas pesquisas ficaram abaixo da definição das normas de qualidade, salvo os painéis de *Gigantochloa scorchedii* de Kasim *et al.* (2001) e a espécie *Bambusa vulgaris* do estudo de Vital e Halensein (1988). José (2006) também estudou o *Bambusa vulgaris* e produziu painéis com elevada resistência ao arrancamento de parafuso, que está diretamente ligado ao adesivo poliuretano à base de mamona utilizado pelo autor.

Tabela 30 - Valores médios da literatura de arranque de parafuso para painéis homogêneos

Composição	Topo (N)	Superfície (N)	Referência
<i>Gigantochloa scorchedii</i>	676,0	957,0	Kasim <i>et al.</i> (2001)
<i>Guadua magna</i>	-	623,7	Arruda <i>et al.</i> (2011)
<i>Bambusa vulgaris</i>	-	347,7	Calegari <i>et al.</i> (2007)
<i>Bambusa vulgaris</i>	-	555,0	Melo <i>et al.</i> (2015)
<i>Bambusa vulgaris</i> (50% <i>E. grandis</i>)*	-	542,0	Melo <i>et al.</i> (2015)
<i>Bambusa vulgaris</i>	627,6	1304,3	Vital e Halensein (1988)
<i>Bambusa vulgaris</i> (33,3% <i>Cecropia sp</i>)*	951,2	1206,2	Vital e Halensein (1988)
<i>Bambusa vulgaris</i> (66,7% <i>Cecropia sp</i>)*	1039,5	1059,1	Vital e Halensein (1988)
<i>Bambusa tuldaoides</i>	-	512,4	Morais (2011)
<i>Bambusa tuldaoides</i> (25% <i>Pinus taeda</i>)*	-	548,4	Morais (2011)
<i>Bambusa tuldaoides</i> (50% <i>Pinus taeda</i>)*	-	590,8	Morais (2011)
<i>Bambusa tuldaoides</i> (75% <i>Pinus taeda</i>)*	-	691,4	Morais (2011)
<i>Bambusa vulgaris</i> (10% resina)**	2106,5	2269,6	José (2006)
<i>Bambusa vulgaris</i> (15% resina)**	1650,0	2172,1	José (2006)
<i>Pinus taeda</i>	1295,9	1206,7	Trianoski (2010)
<i>Pinus taeda</i>	-	827,9	Morais (2011)
<i>Eucalyptus sp</i>	-	364,6	Calegari <i>et al.</i> (2007)
<i>Eucalyptus grandis</i>	-	850,0	Melo <i>et al.</i> (2015)
<i>Cecropia sp</i>	666,8	941,4	Vital e Halensein (1988)

Em que: *painéis em associação de espécies; **com resina poliuretana.

Comparando os resultados obtidos com a literatura, as médias para o arranque de parafuso no topo e superfície foram semelhantes à mistura de *Bambusa vulgaris* com *Cecropia* sp da pesquisa de Vital e Halensein (1988). No entanto, as médias ficaram abaixo do encontrado por José (2006) no que tange ao topo e superfície. Equiparado com as demais pesquisas os resultados se apresentaram superiores para o arranque em superfície.

Com relação às espécies lenhosas pesquisadas, Trianoski (2010) com *Pinus taeda* encontrou média de topo superior à superfície, porém os valores encontrados pela autora foram os mais semelhantes aos encontrados neste estudo. As demais espécies se mostraram com médias inferiores as observadas para os painéis produzidos com 100% de partículas de *Pinus* spp.

4.2.8.2 Painéis multicamadas

Os painéis confeccionados em multicamadas entre *Pinus* spp. e as espécies de bambu variaram para o arranque de parafuso no topo de 624,08 N a 1047,83 N, enquanto que para arranque na superfície a variação foi de 968,08 N a 1252,25 N; todos os valores médios estão apresentados na Tabela 31.

Tabela 31 - Valores médios de arrancamento de parafuso de topo e superfície dos painéis multicamadas (Continua)

Tratamento	Arranque de parafuso (N)		
	Topo	Superfície	
10 (P ₂₅ E ₅₀ P ₂₅)	624,08 c (30,72)		1127,33 ab (19,75)
11 (E ₂₅ P ₅₀ E ₂₅)	866,25 ab (19,44)		968,08 b (25,25)
12 (P ₂₅ B ₅₀ P ₂₅)	691,16 bc (24,89)		1252,25 a (15,47)
13 (B ₂₅ P ₅₀ B ₂₅)	1047,83 a (13,66)		1214,92 ab (17,20)
14 (P ₂₅ C ₅₀ P ₂₅)	685,16 bc (36,82)		1102,67 ab (21,39)
15 (C ₂₅ P ₅₀ C ₂₅)	821,83 abc (22,73)		1040,17 ab (26,36)

Tabela 31 - Valores médios de arrancamento de parafuso de topo e superfície dos painéis multicamadas (Conclusão)

Normas	Arranque de parafuso (N)	
	Topo	Superfície
NBR 14810 (2013)	800	1020
ANSI A 208.1 (2009)		
MS	700	800
M2	800	900
M-3i	900	1000

Legenda: P: *Pinus* spp. E: *Phyllostachys edulis*. B: *Phyllostachys bambusoides*. C: Combinação. Coeficiente de variação (CV) entre parênteses. Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Kruskal Wallis ao nível de 95% de probabilidade. Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

O tratamento 13 ($B_{25}P_{50}B_{25}$) apresentou o melhor desempenho para o arranque de topo, mas foi estatisticamente semelhante aos painéis 11 ($E_{25}P_{50}E_{25}$) e 15 ($C_{25}P_{50}C_{25}$), o resultado de menor desempenho foi o 10 ($P_{25}E_{50}P_{25}$). Para a resistência na superfície o tratamento que apresentou a melhor qualidade foi o 12 ($P_{25}B_{50}P_{25}$), porém demonstrou diferença significativa somente ao tratamento 11 ($E_{25}P_{50}E_{25}$), sendo semelhante aos demais painéis multicamadas.

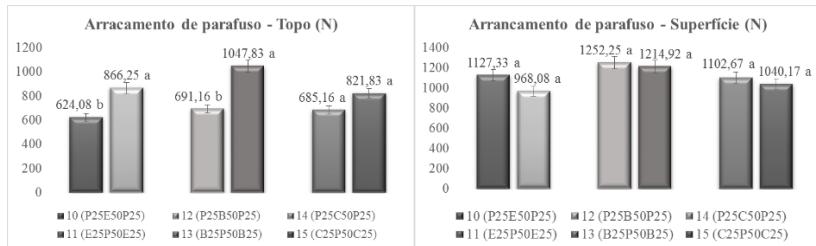
Com relação as normas, somente os tratamentos 11 ($E_{25}P_{50}E_{25}$), 13 ($B_{25}P_{50}B_{25}$) e 15 ($C_{25}P_{50}C_{25}$) atenderam a NBR 14810 (2013) ao que diz respeito do arranque no topo. A classificação da ANSI A 208.1 (2009) indica que 11 ($E_{25}P_{50}E_{25}$) e 15 ($C_{25}P_{50}C_{25}$) são de qualidade M2 e o 13 ($B_{25}P_{50}B_{25}$) como M-3i, os demais sequer foram classificados. Na classificação da norma quanto a superfície todos os painéis são M-3i, com exceção do 11 ($E_{25}P_{50}E_{25}$) que é M2. Esse mesmo tratamento foi o único a não responder a NBR 14810 (2013).

Numericamente, no que diz respeito ao topo, os painéis em multicamada mostraram resultados inferiores aos observados em colchão homogêneo. No entanto, o cenário muda quando são analisados os valores para superfície, onde os painéis em

multicamadas apresentaram performance semelhante aos produzidos de forma homogênea.

Quando se analisa a Figura 31, em que apresenta a influência da composição da camada central e das superficiais, os menores valores de resistência ao arrancamento no topo aos painéis são expostos quando bambu constitui a camada interna. Para o arrancamento de superfície não houve diferença estatística entre as composições das camadas.

Figura 31 - Arranque de parafuso em função da composição das camadas



Legenda: P: *Pinus* spp. E: *Phyllostachys edulis*. B: *Phyllostachys bambusoides*. C: Combinação. Barras de erro indicam o intervalo de confiança a 95% de probabilidade. Letras denotam diferença estatística pelo teste de Kruskal Wallis ao nível de 95% de probabilidade entre painéis de mesma matéria prima. Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

Conforme visto, a resistência ao arrancamento de parafusos está relacionada à densificação do painel, e que quando o ensaio é realizado no topo o parafuso está fixado na camada interna menos densificada em comparação as camadas externas. Explicitada pela Figura 31, a adesão é menor quando as espécies de bambu compõem a camada central, por isso os resultados ínfimos quando equiparados aos painéis com *Pinus* spp. na camada, comprovado inclusive pelo perfil de densidade que apresentou menor densificação quando o bambu está presente na camada central. Esse resultado indica que as partículas de bambu possuem menor contato entre si, gerando menor resistência mecânica ao parafuso.

Com o exposto percebe-se a razão da diferença significativa para o arrancamento de parafuso no topo ser melhorado quando a madeira de *Pinus spp.* forma a camada do meio, contudo isso não acontece com a outra variável, como a resistência para retirada do parafuso na superfície entra em contato com toda a densificação da espessura do painel, não demonstra assim significância estatística entre os painéis com diferentes composições de camadas.

Em painéis puros produzidos com bambu em composição multicamadas e também em mistura com materiais lignocelulósicos residuais da agricultura (Tabela 32), os resultados apresentaram arranque de parafuso no topo acima ou próximo da normatização, no entanto para superfície os valores da literatura se mostraram aquém da delimitação.

Tabela 32 - Valores médios da literatura de arranque de parafuso para painéis multicamadas

Composição	Topo (N)	Superfície (N)	Referência
<i>Dendrocalamus giganteus</i>	981,9	983,2	Dinhane (2016)
<i>D. giganteus</i> (10%FC)*	846,9	904,9	Dinhane (2016)
<i>D. giganteus</i> (20%FC)*	851,5	888,7	Dinhane (2016)
<i>D. giganteus</i> (30%FC)*	791,3	883,5	Dinhane (2016)
<i>D. giganteus</i>	981,9	983,2	Araújo (2015)
<i>D. giganteus</i> (10%CC)**	784,5	992,9	Araújo (2015)
<i>D. giganteus</i> (20%CC)**	779,4	920,9	Araújo (2015)
<i>D. giganteus</i> (30%CC)**	751,6	800,0	Araújo (2015)
<i>Pinus spp.</i> ****	330,5 – 921,0	641,1 – 1033,7	Longo (2014)
<i>Pinus taeda</i> *****	754,0	1032,0	Iwakiri <i>et al.</i> (2012b)

Em que: *painéis em associação com Fibra de Coco na camada interna; **painéis em associação com Casca de Café na camada interna; ***em associação com Bagaço de Cana nas camadas externas; ****painéis em associação com resíduos de espécies tropicais nas camadas externas;

*****painéis em com diferentes granulometrias nas camadas internas e externas.

Comparando com painéis de pinus confeccionados em multicamadas da literatura, o arranque de topo se mostrou semelhante quando o pinus forma a camada interna, mas inferior quando o bambu está na camada interna. De madeira geral, para a variável de arranque de parafuso na superfície os painéis pesquisados apresentaram valores elevados aos buscados na literatura.

Sanches (2000) também estudando a viabilidade técnica de produção de painéis em camadas com associação entre *Pinus taeda* (pinus), *Eucalyptus saligna* (eucalipto), *Mimosa scabrella* (bracatinga) e *Hovenia dulcis* (uva-do-japão) e utilizando 10% de adesivo UF, de modo geral, a mistura de madeira de diferentes espécies e suas proporções, não apresentaram influência na resistência ao arrancamento de parafusos na superfície dos painéis multicamadas, e variaram de 634,41 N a 810,81 N. Para o topo os painéis multicamadas com 100% partículas de *Pinus taeda* do mesmo autor foi o painel de menor resistência, os valores de topo variaram de 414,48 N a 676,79 N.

4.2.9 Tração perpendicular

4.2.9.1 Painéis homogêneos

Os valores médios de resistência à tração perpendicular (ligação interna) dos painéis homogêneos estão dispostos na Tabela 33, na qual as médias observadas variaram de 0,33 MPa (5 (B₁₀₀P₀₀)) a 0,46 MPa (9 (P₁₀₀)).

Tabela 33 - Valores médios de tração perpendicular dos painéis homogêneos

Tratamento	Tração perpendicular (MPa)
1 (E ₁₀₀ P ₁₀₀)	0,36 b (13,17)
2 (E ₇₅ P ₂₅)	0,36 b (26,35)
3 (E ₅₀ P ₅₀)	0,37 b (25,47)
4 (E ₂₅ P ₇₅)	0,41 ab (30,35)
9 (P ₁₀₀)	0,46 a (25,58)
<hr/>	
5 (B ₁₀₀ P ₁₀₀)	0,33 b (22,75)
6 (B ₇₅ P ₂₅)	0,34 b (20,49)
7 (B ₅₀ P ₅₀)	0,34 b (17,41)
8 (B ₂₅ P ₇₅)	0,36 b (25,38)
9 (P ₁₀₀)	0,46 a (25,58)
<hr/>	
Normas	
NBR 14810 (2013)	0,35
EN 312 (2003)	0,35
CS 236-66 (1968)	0,48
ANSI A208.1 (2009)	
M1 e MS	0,36
M2	0,40
M-3i	0,50

Legenda: P: *Pinus* spp. E: *Phyllostachys edulis*. B: *Phyllostachys bambusoides*. Coeficiente de variação (CV) entre parênteses. Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade. Valores ajustados por ANCOVA para uma densidade aparente de 718 kg/m³. Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

Para o primeiro grupo de painéis, formados por partículas de *Phyllostachys edulis* e *Pinus* spp., verifica-se que o melhor tratamento foi o 9 (P₁₀₀) e os menos expressivos o 1 (E₁₀₀P₁₀₀), o 2 (E₇₅P₂₅) e o 3 (E₅₀P₅₀), já o tratamento 4 (E₂₅P₇₅) apresentou valor intermediário. Para o segundo grupo, a tendência do primeiro foi repetida, somente com a inclusão do

tratamento 8 (B₂₅P₇₅) no grupo de painéis que apresentaram os menores valores médios.

Na comparação com as normas de qualidade, denota-se que os resultados médios de tração perpendicular dos painéis com partículas de *Phyllostachys edulis* se mostraram superiores ao mínimo exigido pelas normas NBR 14810 (2013) e EN 312 (2003), no entanto nenhum atingiu ao que é determinado pela CS 236-66 (1968); segundo a classificação da ANSI A208.1 (2009), os painéis dos tratamentos 1 (E₁₀₀P₁₀₀), 2 (E₇₅P₂₅) e 3 (E₅₀P₅₀) se enquadraram em MS e os demais em M2. Nos painéis com partículas de *Phyllostachys bambusoides* somente os tratamentos com 75% e 100% de madeira na constituição superaram as normas NBR 14810 (2013) e EN 312 (2003), enquanto que nenhum tratamento respondeu a CS 236-66 (1968); quanto a A208.1 (2009), somente os tratamentos 8 (B₂₅P₇₅) e 9 (P₁₀₀) foram enquadrados como MS e M2, respectivamente.

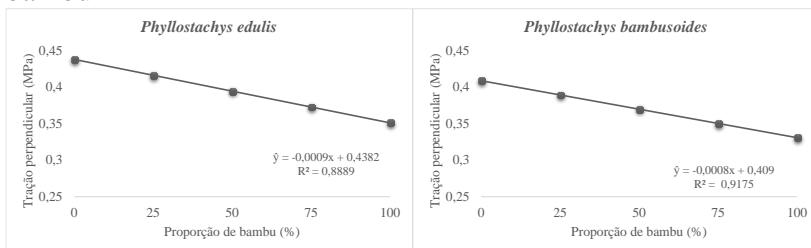
De acordo com Wong *et al.* (1998), a tração perpendicular é afetada pela desuniformidade do gradiente de densidade do painel, onde menores valores de densidade mínima do perfil de densidade podem vir a prejudicar a propriedade mecânica analisada, o que é decorrente da ruptura ocorrer no ponto mais fraco na direção da espessura. Contudo, as densidades mínimas dos painéis estudados (Tabela 11) não apresentaram diferença estatística entre si, corroboram para a variação da propriedade nos painéis possui relação direta com as espécies. Melo *et al.* (2010) observaram influência da densidade do painel no ensaio de tração perpendicular; os autores estudando a variação de 600 kg/m³, 700 kg/m³ e 800 kg/m³ em painéis de *Eucalyptus grandis* notaram melhora significativa na propriedade mecânica.

Vital e Haselein (1988) também observaram que os painéis de partículas produzidos com 100% de partículas de bambu (*Bambusa vulgaris*) se mostraram numericamente abaixo dos painéis compostos por 100% partículas de madeira

(*Cecropia* sp.) no que diz respeito aos valores médios para tração perpendicular.

Os ajustes dos modelos de regressão em função do aumento da porcentagem das duas espécies de bambu para a tração perpendicular estão apresentados na Figura 32.

Figura 32 - Tração perpendicular em função da proporção de bambu



Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

Os modelos de regressão demonstram de forma clara a influência da adição das espécies de bambu na qualidade da tração perpendicular dos painéis; em todos os tratamentos, observa-se que conforme há o acréscimo de partículas de bambu, a propriedade sofre diminuição em seus valores médios. De acordo com a análise de correlação de Pearson (APÊNDICE B, Tabela 39), o ensaio de tração apresentou correlação direta para o *Pinus* spp., ou seja, com o incremento de partículas de madeira, ocorre o aumento da tração perpendicular.

Alguns fatores podem ser relacionados com a melhoria da tração com o incremento da madeira de *Pinus* spp., Moslemi (1974), diz que a baixa densidade da espécie utilizada na produção dos painéis reflete na melhora da ligação interna; Kelly (1977), relata que isso é decorrente do aumento da razão de compactação. Fato corroborado com o ítem 4.2.1.1 (Tabela 9), para os painéis de *Phyllostachys edulis*, apesar de menores razões de compactação, há o aumento conforme incremento de *Pinus* spp. Entretanto para os painéis de *Phyllostachys*

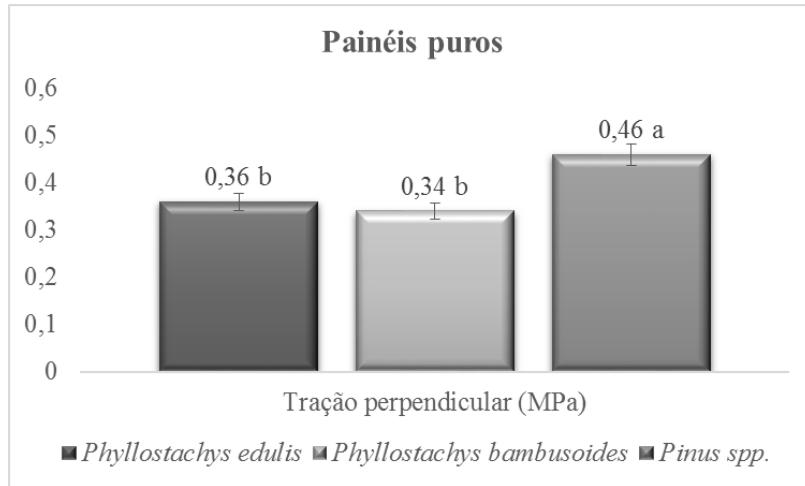
bambusoides, mesmo apresentando semelhança estatística, apresentou tendência ao aumento com adição de madeira.

Os valores significativamente superiores no ensaio de tração perpendicular apresentado pela espécie *Pinus* spp., também podem estar atrelados a geometria das partículas da espécie que são mais curtas e espessas que as do bambu e isso, de acordo com Vital *et al.* (1992), favorecem essa propriedade.

A eficiência da colagem de painéis de madeira, com consequência na tração perpendicular, pode sofrer interferência da quantidade e do tipo de extrativos presentes na matéria prima, o que acarreta problemas com maior consumo de adesivo e na taxa de cura do mesmo (CLOUTIER, 1998). No entanto, Trugilho *et al.* (1996) afirmam que o teor de extrativos não é o motivo isolado na qualidade de adesão das partículas. Com o exposto com o ítem 4.1.2 (Figura 14) a porcentagem de extrativos do *Phyllostachys bambusoides* foi menor em relação ao *Pinus* spp., Lima *et al.* (2007) explicam que as reações de polimerização do adesivo e extrativos não dependem somente da quantidade, mas também do tipo de extrativo, com isso algum dos extrativos presentes na composição química do bambu pode ter influenciado na ligação e na cura do adesivo.

Na Figura 33, estão as médias de tração para os painéis confeccionados somente de forma pura sem a mistura de espécies, demonstrando a diferença significativa para a tração perpendicular entre os painéis formados com partículas do gênero *Phyllostachys* e do *Pinus* spp.

Figura 33 - Tração perpendicular em função das espécies estudadas



Em que: Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade. Barras de erro indicam o intervalo de confiança a 95% de probabilidade. Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

A ligação interna dos painéis de *Pinus spp.* foi significativamente maior que das espécies de bambu, demonstrando que os painéis da espécie possuem melhor qualidade para a propriedade. No entanto, entre os bambus *Phyllostachys edulis* e *Phyllostachys bambusoides* foi observada semelhança estatística entre si.

De modo geral, para promover a melhoria na adesão das partículas e aumento da tração perpendicular, Wong *et al.* (1998), destacam que é necessário aumento da densidade do painel, do teor de resina, e do tempo e temperatura de prensagem; para maior resistência à tração perpendicular, seria necessário o uso de partículas mais espessas, afim de promover maior densificação da camada interna e aumento na resistência de ruptura na região.

A literatura apresenta diversas pesquisas (Tabela 34) que estudaram espécies de bambu para produção de painéis de

partículas; entre os analisados, nota-se que o gradiente de resultados é variado, em que alguns autores como Kasim *et al.* (2001) e Vital e Helensein (1988) atingiram o mínimo das normas com as espécies de bambu estudadas, e Trianoski (2010) e Morais (2011) com *Pinus taeda* também obtiveram resultados satisfatórios no que tange as normas, os demais mostraram valores abaixo das especificações das normas.

Tabela 34 - Valores médios da literatura de tração perpendicular para painéis homogêneos (Continua)

Composição	Tração perpendicular (MPa)	Referência
<i>Phyllostachys nigra</i>	0,08	Dall'igna (2015)
<i>Gigantochloa scorchedii</i>	1,04	Kasim <i>et al.</i> (2001)
<i>Guadua magna</i>	0,32	Arruda <i>et al.</i> (2011)
<i>Bambusa vulgaris</i>	0,18	Calegari <i>et al.</i> (2007)
<i>B. vulgaris</i>	0,22	Melo <i>et al.</i> (2015)
<i>B. vulgaris</i> (50% <i>E. grandis</i>)*	0,22	Melo <i>et al.</i> (2015)
<i>B. vulgaris</i>	0,39	Vital e Halensein (1988)
<i>B. vulgaris</i> (33,3% <i>Cecropia sp</i>)*	0,63	Vital e Halensein (1988)
<i>B. vulgaris</i> (66,7% <i>Cecropia sp</i>)*	0,75	Vital e Halensein (1988)
<i>B. tuldaoides</i>	0,20	Morais (2011)
<i>B. tuldaoides</i> (25% <i>P. taeda</i>)*	0,15	Morais (2011)
<i>B. tuldaoides</i> (50% <i>P. taeda</i>)*	0,27	Morais (2011)

Tabela 34 - Valores médios da literatura de tração perpendicular para painéis homogêneos (Conclusão)

Composição	Tração perpendicular (MPa)	Referência
<i>B. tuldooides</i> (75% <i>P. taeda</i>)*	0,40	Moraes (2011)
<i>B. vulgaris</i> (10% resina)**	0,40	José (2006)
<i>B. vulgaris</i> (15% resina)**	0,32	José (2006)
<i>Phyllostachys pubescens</i> ***	1,20	Li (2004)
<i>Pinus taeda</i>	1,05	Trianoski (2010)
<i>Pinus taeda</i>	0,50	Moraes (2011)
<i>Eucalyptus sp</i>	0,24	Calegari <i>et al.</i> (2007)
<i>Eucalyptus grandis</i>	0,24	Melo <i>et al.</i> (2015)
<i>Cecropia sp</i>	0,53	Vital e Halensein (1988)

Em que: *painéis em associação de espécies; **com resina poliuretana; ***painéis MDF.

Os resultados obtidos para os painéis homogêneos mostraram maior semelhança aos painéis de partículas (640 kg/m³ e 8% UF) de *Guadua magna* do estudo de Arruda *et al.* (2007); no mesmo estudo, os autores avaliaram a mistura do bambu com *Pinus taeda* em 25% e 50% em painéis com 8% de adesivo fenol formaldeído (FF), em que as duas proporções de misturas (0,47 MPa e 0,40 MPa, respectivamente) foram de melhor qualidade que o painel 100% bambu (0,28 MPa).

Entretanto, Melo *et al.* (2015), avaliaram a mistura (0%-25%-50%) de bambu com *Eucalyptus grandis* e não observaram diferença estatística para as variações de proporção, as médias mais baixas as encontradas neste estudo podem estar atreladas a porcentagem da resina UF utilizada pelos autores que foi de 8%.

Com relação aos painéis de *Pinus* spp., os valores ficaram mais próximos ao encontrado por Morais (2011), enquanto que os valores de Trianoski (2010) se mostraram até duas vezes maiores aos obtidos nessa pesquisa. Um dos motivos para as médias elevadas da autora, pode ser em relação a geometria das partículas, que apresentou partículas mais curtas e espessas que favorecem a melhores resultados de tração perpendicular.

4.2.7.2 Painéis multicamadas

Os valores médios encontrados para tração perpendicular dos painéis multicamadas estão apresentados na Tabela 35, na qual observa-se que os resultados variaram 0,28 MPa tratamentos 11 ($E_{25}P_{50}E_{25}$) e 15 ($C_{25}P_{50}C_{25}$) até 0,36 MPa dos tratamentos 12 ($P_{25}B_{50}P_{25}$) e 13 ($B_{25}P_{50}B_{25}$).

Tabela 35 - Valores médios de tração perpendicular dos painéis multicamadas

Tratamento	Tração perpendicular (MPa)
10 ($P_{25}E_{50}P_{25}$)	0,35 a (15,30)
11 ($E_{25}P_{50}E_{25}$)	0,28 a (39,79)
12 ($P_{25}B_{50}P_{25}$)	0,36 a (24,53)
13 ($B_{25}P_{50}B_{25}$)	0,36 a (24,93)
14 ($P_{25}C_{50}P_{25}$)	0,34 a (31,52)
15 ($C_{25}P_{50}C_{25}$)	0,28 a (36,09)
<hr/>	
Normas	
NBR 14810 (2013)	0,35
EN 312 (2003)	0,35
CS 236-66 (1968)	0,48
ANSI A208.1 (2009)	
M1 e MS	0,36
M2	0,40
M-3i	0,50

Legenda: P: *Pinus* spp. E: *Phyllostachys edulis*. B: *Phyllostachys bambusoides*. C: Combinação. Coeficiente de variação (CV) entre parênteses. Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade. Valores ajustados por ANCOVA para uma densidade aparente de 703 kg/m³. Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

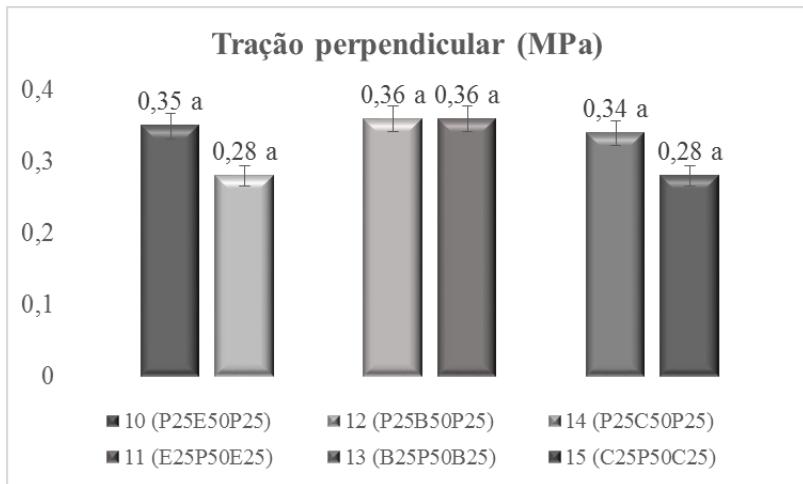
Apesar da variação numérica e da tendência das médias dos painéis constituídos de *Pinus* spp. na camada interna se apresentarem menores, estatisticamente, os resultados foram semelhantes entre si, ou seja, para a variável de tração perpendicular a composição de *Pinus* spp. ou bambu na camada interna não inferiu em performance ao painel no ensaio em questão.

Contudo, de forma geral, é possível notar que as médias de ligação interna dos painéis multicamadas foram inferiores aos painéis homogêneos, incluindo os produzidos com 100% partículas de bambu.

Perante as normas NBR 14810 (2013) e EN 312 (2003), somente os tratamentos 10 (P₂₅E₅₀P₂₅), 12 (P₂₅B₅₀P₂₅) e 13 (B₂₅P₅₀B₂₅) chegaram ao mínimo da exigência. Nenhum dos painéis em multicamadas respondeu a norma CS 236-66 (1968), mas os tratamentos 12 (P₂₅B₅₀P₂₅) e 13 (B₂₅P₅₀B₂₅), produzidos com partículas de *Phyllostachys bambusoides*, foram classificados em MS pela ANSI A208.1 (2009).

A influência da composição das camadas superficiais e central por *Pinus* spp. ou as espécies de bambu está presente na Figura 34, e novamente, mesmo com a diferença numérica das médias todas elas são semelhantes entre si.

Figura 34 - Tração perpendicular em função da composição das camadas



Legenda: P: *Pinus* spp. E: *Phyllostachys edulis*. B: *Phyllostachys bambusoides*. C: Combinação. Barras de erro indicam o intervalo de confiança a 95% de probabilidade. Letras denotam diferença estatística pelo teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade entre painéis de mesma matéria prima. Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

Cloutier (1998) ressalta que a ligação interna é grande parte determinada pela densidade na camada interna do painel, no entanto mesmo com a condição de apresentar diferença estatística na densidade mínima da camada interna dos painéis estudados na análise do perfil de densidade (Tabela 12), isso não se mostrou influência significativa na avaliação da tração perpendicular dos painéis multicamadas.

Estudos com a produção de painéis multicamadas de bambu puros e também com associação com materiais fibrosos diversos se mostraram bastante promissores, haja visto que atendem as normas de exigência para a tração perpendicular das normas de comercialização (Tabela 36).

Tabela 36 - Valores médios da literatura de tração perpendicular para painéis multicamadas

Composição	Tração perpendicular (MPa)	Referência
<i>Dendrocalamus giganteus</i>	1,57	Dinhane (2016)
<i>D. giganteus</i> (10%FC)*	0,88	Dinhane (2016)
<i>D. giganteus</i> (20%FC)*	0,98	Dinhane (2016)
<i>D. giganteus</i> (30%FC)*	1,02	Dinhane (2016)
<i>D. giganteus</i>	1,57	Araújo (2015)
<i>D. giganteus</i> (10%CC)**	1,19	Araújo (2015)
<i>D. giganteus</i> (20%CC)**	1,15	Araújo (2015)
<i>D. giganteus</i> (30%CC)**	0,89	Araújo (2015)
<i>Bambusa vulgaris</i> (60%BC)***	0,57	Fiorelli <i>et al.</i> (2015)
<i>B. vulgaris</i> (50% <i>Pinus oocarpa</i>)	0,66	Teodoro <i>et al.</i> (2016)
<i>Pinus spp.</i> ****	0,16 – 0,51	Longo (2014)
<i>Pinus taeda</i> *****	0,43	Iwakiri <i>et al.</i> (2012b)

Em que: *painéis em associação com Fibra de Coco na camada interna; **painéis em associação com Casca de Café na camada interna; ***em associação com Bagaço de Cana nas camadas externas; ****painéis em associação com resíduos de espécies tropicais nas camadas externas; *****painéis com diferentes granulometrias nas camadas internas e externas.

Em comparação com as médias encontradas para os painéis multicamadas nota-se as médias abaixo dos resultados encontrados por diversos autores, além de apresentarem também, de forma geral, médias inferiores aos painéis homogêneos desse estudo. Os valores apresentaram-se mais similares aos de Longo (2014), que estudando resíduos de espécies tropicais como angelim (*Hymenolobium* sp. / *Andira* sp.), cambará (*Qualea* sp.) e canelão (*Ocotea* sp. / *Nectandra* sp.), cedro (*Cedrelinga cateniformis*) e itaúba (*Mezilaurus itauba*) nas camadas superficiais do painel e com *Pinus spp.* na camada central, obteve valores de 0,42 MPa, 0,38 MPa, 0,31

MPa, 0,51 MPa, 0,16 MPa e 0,47 MPa, respectivamente para as espécies.

4.3 RESUMO DAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS

Em resumo, a Tabela 37 apresenta todos os valores médios encontrados para as propriedades físicas e mecânicas obtidas dos painéis produzidos neste estudo.

Tabela 37 - Resumo das propriedades tecnológicas dos painéis.

Tratamento	DE	RC	Perfil de densidade	Espessura TU	AA (%)	IE (%)	TNRE	Flexão estática	AP	TP	
	kg/m ²	-	Média sup. Máx. inf.	Máx. Min. (mm)	(%)	horas horas	(%)	MOR	MOE	Topo (N)	Sup. (N)
1 (E ₁₀₀ P ₀₀)	716	0,97	647	707	632	697	16,83	10,54	34,83	59,02	10,78
2 (E ₁₀₀ P ₂₅)	701	1,05	648	736	620	723	16,91	10,88	28,18	50,55	9,55
3 (E ₁₀₀ P ₅₀)	691	1,15	669	764	620	739	16,87	11,41	25,05	43,59	9,45
4 (E ₁₀₀ P ₇₅)	670	1,26	657	799	616	797	16,45	10,37	22,86	54,53	13,61
5 (B ₁₀₀ P ₀₀)	766	1,32	655	726	654	721	16,60	9,83	39,45	58,38	14,17
6 (B ₁₀₀ P ₂₅)	748	1,36	656	721	600	723	16,28	9,71	23,98	45,56	9,48
7 (B ₁₀₀ P ₅₀)	732	1,41	686	805	638	796	16,12	10,43	16,47	41,58	4,89
8 (B ₁₀₀ P ₇₅)	713	1,45	665	797	608	754	16,81	10,18	25,59	47,35	18,01
9 (P ₁₀₀)	657	1,43	685	814	616	813	17,00	12,67	22,07	54,57	11,53
10 (P ₁₅₀ E ₅₀ P ₃₅)	769	1,29	701	835	666	852	16,44	9,78	35,66	60,98	16,21
11 (E ₂₅ P ₅₀ E ₃₅)	715	1,19	658	778	609	753	16,88	10,12	34,07	64,88	15,51
12 (P ₁₅₀ B ₅₀ P ₃₅)	697	1,34	660	821	613	808	16,32	10,07	27,13	48,71	12,47
13 (B ₁₅₀ B ₅₀ P ₃₅)	718	1,39	633	697	581	703	16,69	9,50	19,67	52,98	10,45
14 (P ₂₅ C ₅₀ P ₃₅)	728	1,30	685	822	634	827	16,46	9,76	18,21	63,71	12,12
15 (C ₂₅ P ₅₀ C ₃₅)	723	1,30	662	727	603	765	17,00	9,76	24,14	62,24	33,86
NBR 14810 (2013) CSA 0437 (1993) EN 312-2 (2003)					5,00 - 13,00		8,00	18,00	11,00	1600	800
ANSI A208.1 (2009)					10,00	10,00	15,00	35,00	11,00	2403	0,48
M1					40,00		15,00	13,00	13,00	1600	0,35
MS								10,00	1550		0,36
M2								11,00	1700		0,36
M3i								13,00	2000		0,40
								15,00	2500		0,50

En que: DE: Densidade; TU: Teor de umidade; AA: Absorção de água; IE: Inchaamento em espessura; TNRE: Taxa de não retorno em espessura; AP: Arranque de parafuso; TP: Tração perpendicular. □

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

* A caracterização preliminar da madeira / partículas, demonstrou que a matéria-prima utilizada na fabricação dos painéis apresentava variação na densidade básica, sendo o *Pinus* spp., a espécie que apresentou o menor valor (460 kg/m^3) e o *Phyllostachys edulis* o maior (735 kg/m^3), enquanto que o *Phyllostachys bambusoides* apresentou-se de forma intermediária (576 kg/m^3).

* Quanto a composição química quantitativa, a holocelulose demonstrou variação em que as espécies de bambu (68,54%, *Phyllostachys edulis*; 69,22%, *Phyllostachys bambusoides*) apresentaram maior porcentagem em relação ao *Pinus* spp. (62,11%); a porcentagem de lignina foi significativamente menor para o bambu (21,27%, *Phyllostachys edulis*; 24,30%, *Phyllostachys bambusoides*) em comparação a madeira (29,62%); os extractivos totais variaram significativamente entre si para o *Phyllostachys edulis* (9,45%), *Phyllostachys bambusoides* (5,29%) e *Pinus* spp. (7,87%); assim como as cinzas de *Phyllostachys edulis* (0,75%), *Phyllostachys bambusoides* (1,19%) e *Pinus* spp. (0,41%), apesar das diferenças significativas, os componentes químicos do bambu não exerceiram influência negativa na produção de painéis.

* Os valores médios de densidade dos painéis foram dispersos entre os tratamentos (657 a 766 kg/m^3), em função da produção ser realizada de forma manual em laboratório de pesquisa, e apresentaram-se diferentes a densidade nominal desejada (700 kg/m^3).

* Na razão de compactação, observou-se no grupo de painéis homogêneos formados por partículas de *Phyllostachys edulis*, que o acréscimo de partículas de *Pinus* spp. teve como consequência o aumento da variável, no entanto somente o tratamento formado por 100% de partículas de madeira atingiu o intervalo proposto pela literatura. Para o segundo grupo de painéis homogêneos, formado por *Phyllostachys bambusoides*,

todos os tratamentos se mostraram dentro do intervalo desejado e não apresentando diferença estatística significativa. Para painéis multicamadas, somente os compostos com partículas de *Phyllostachys edulis* não ficaram dentro do intervalo recomendado pela literatura.

* A análise do perfil de densidade dos painéis homogêneos, demonstrou como esperado, que as camadas superficiais foram mais densificadas que a da camada interna, no entanto, não houve diferença significativa dentro das camadas. Para painéis multicamadas, as partículas de *Pinus spp.* nas camadas externas apresentaram, de modo geral, maiores médias para todas as densidades estudadas ao longo da espessura.

* A estabilidade dimensional dos painéis, expressada pela absorção de água e pelo inchamento em espessura, demonstrou para painéis homogêneos que a combinação de 50% de partículas de ambas espécies de bambu com 50% partículas de madeira foram os resultados mais promissores. Já para painéis multicamadas, constatou-se que as partículas de *Phyllostachys bambusoides* compõem as diferentes camadas apresentaram maior estabilidade dimensional. De maneira geral, os painéis homogêneos demonstraram qualidade superior às propriedades físicas em relação aos multicamadas.

* Para as propriedades de flexão estática, observou-se de forma geral, que nos painéis homogêneos, tanto no grupo de painéis de *Phyllostachys edulis* quanto no de *Phyllostachys bambusoides*, que o melhor tratamento foi o composto por 100% partículas de *Pinus spp.*, no entanto, houve equivalência dos tratamentos formados por 50% de partículas de bambu e 50% de madeira. Nos painéis multicamadas, verificou-se que a presença de partículas de *Pinus spp.* nas camadas externas, teve como consequência uma melhoria significativa na resistência e na rigidez, do que quanto colocado na camada interna.

* No arrancamento de parafuso de topo e superfície dos painéis homogêneos, nos dois grupos analisados foi evidenciado

como melhor tratamento os painéis compostos por 50% partículas de bambu e 50% partículas de madeira, mas sendo significativamente semelhante aos demais com exceção ao tratamento com 25% bambu e 75% *Pinus spp.* Para os painéis multicamadas o arrancamento de parafuso de topo foi superior quando o *Pinus spp.* se fez presente na camada interna dos painéis. Para o arranque no topo os painéis multicamada apresentaram melhor desempenho frente aos homogêneos, no entanto houve equivalência entre os tipos de painéis para o arranque de superfície.

* O acréscimo de partículas de bambu nos painéis, tanto de *Phyllostachys edulis* de *Phyllostachys bambusoides*, teve como consequência a diminuição dos valores médios de resistência à tração perpendicular, principalmente no primeiro grupo de painéis, onde a diferença foi significativa. Na comparação com os painéis formados exclusivamente por partículas de *Pinus spp.*, todos os tratamentos apresentaram-se inferiores. Entre os painéis multicamadas, todos os tratamentos apresentaram equivalência estatística, independente da composição dos mesmos.

* Os painéis homogêneos e multicamadas se mostraram com desempenho satisfatório frente as propriedades físicas, atendendo a maioria das normas de comercialização, destaque para os painéis homogêneos na proporção de 50% partículas de bambu e 50% madeira. Para resistência e rigidez a flexão estática as normas foram respondidas pelos painéis puros de *Pinus spp.* e os multicamadas com madeira nas camadas externas, as demais propriedades mecânicas atenderam as normas.

* Com o exposto conclui-se que a melhor composição para painéis homogêneos é a mistura de 50% de partículas de *Phyllostachys bambusoides* e 50% de partículas de *Pinus spp.* A espécie *Phyllostachys bambusoides* também se mostrou promissora nos painéis multicamada, principalmente compondo a camada interna. Nessas condições, indica-se o uso dos painéis homogêneos frente aos multicamadas.

* Diante dos resultados das propriedades físico-mecânicas as partículas de bambu das espécies *Phyllostachys edulis* e *Phyllostachys bambusoides* possuem potencial técnico como matéria-prima lignocelulósica para utilização na produção de painéis.

6 RECOMENDAÇÕES

Isto posto, recomenda-se estudos que possam elevar a potencialidade das espécies de bambu na produção de painéis:

* Produção de painéis das espécies com maior controle sobre a granulometria das partículas de bambu, com partículas mais largas e menos compridas e espessas, para obter maiores valores de índice de esbeltez e razão de planicidade.

* Diferentes ciclos de prensagem, com relação a temperatura da prensa ideal para proporcionar melhor densificação das camadas internas dos painéis, principalmente dos painéis multicamadas, afim de aferir maior tração perpendicular, porém sem alterar a resistência à flexão estática.

* Análise econômica da viabilidade da utilização de bambu para produção industrial de painéis, além de introdução das espécies em grandes áreas de plantio.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIMCI. Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente. PNQM – **Programa Nacional de Qualidade da Madeira**. 2009.

ALBERTO, M. M. M. **Efeito da geometria das partículas e da densidade sobre as propriedades de painéis estruturais “waferboards”**. 122 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1992.

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: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 11.2008, Londrina. **Anais eletrônicos...** Londrina: UEL, 2008.

ALZATE, S. B. A.; TOMAZELLO FILHO, M.; PIEDADE, S. M. S. Variação longitudinal da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, *E. saligna* Sm. e *E. grandis x urophylla*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 68, p.87-95, ago. 2005.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE. **ANSI A 208.1**: Mat formed wood particleboard: specifications. Gaithersburg: National Particleboards Association, 2009. 9p.

AMÉRICO, L. Eco-Design ea utilização de materiais alternativos renováveis: o Bambu e sua inter-relação com o design. In: 2º Simpósio Brasileiro de Design Sustentável. **Anais...**, v. 2. São Paulo, 2009.

ANDRADE, A.S. Qualidade da madeira, celulose e papel em *Pinus taeda* L.: influência da idade e da classe de produtividade. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

ANDRADE, M. F.; COLODETTE, J. L. Influência do último estágio de branqueamento ECF, na branqueabilidade, no refino e nas propriedades da polpa. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 86, p. 135-146, 2010.

ARAÚJO, I. I. Caracterização físico-mecânica de painéis de partículas de bambu com adição de casca de café. 114 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2015.

ARAÚJO, I. I.; DINHANE, F. C. R.; GALDINO, G. A.; BEZERRA, B. S.; VALARELLI, I. D. D. Aproveitamento do resíduo do processamento do café na composição de painéis MDP. In: III Workshop do PGR em Gestão de Resíduos da UNESP: o uso de ferramentas de gestão na Universidade. **Anais... ARCHIVES OF HEALTH INVESTIGATION**. V. 3. 2014.

ARRUDA, L.M., DEL MENEZZI, C.H., TEIXEIRA, D.E., DE ARAÚJO, P.C. Lignocellulosic composites from Brazilian giant bamboo (*Guadua magna*) Part 1: Properties of resin bonded particleboards. **Maderas Ciencia y tecnologia**, v.13, p.297-306, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.
NBR 14810 – Chapas de madeira aglomerada. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.
NBR 11941: Madeira – determinação da densidade básica.
Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS -
ABNT; **NBR 7990 Madeira - Determinação do material
solúvel em hidróxido de sódio a 1%.** Brasil, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS
(ABNT). **NBR 14853 - Madeira - Determinação do material
solúvel em etanol-tolueno e em diclorometano e em acetona.**
Brasil, 2010

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS
(ABNT). **NBR 14577 - Pasta celulósica e madeira -
Determinação do material solúvel em água.** Brasil, 2003

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS -
ABNT; **NBR 14660 Madeira - Amostragem e preparação
para análise.** Brasil, 2004.

ASTM – American Society for Testing and Materials. **ASTM D1037:** Standard test methods for evaluating properties of wood-base fiber and particle panel materials. Philadelphia, 1995.

AUSTIN, R.; LEVY, D.; UEDA, K. **Bamboo.** 5 ed. Tokyo, Japão: Weatherhill, 1977. 215p.

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

BALLONI, C. J. V. **Caracterização física e química da madeira de *Pinus elliottii*.** Trabalho de Conclusão de Curso – Monografia. 41 p. Universidade do Estado de São Paulo, Itapeva, SP, 2009.

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

BELINI, U.L.; TOMAZELLO FILHO, M.; CHAGAS, M. P. Densitometria de raios X aplicada na avaliação tecnológica de painéis MDF de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, e. 84, p. 343- 350, 2009.

BELINI, U. L. **Caracterização tecnológica de painéis de fibras da madeira de eucalipto, *Eucalyptus grandis*, e de partículas do bagaço do colmo de cana-de-açúcar, *Saccharum* sp.** 169 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luís de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, 2012.

BELINI, U. L.; JÚNIOR, H. S.; BARRERO, N. G.; SARTORI, D.; LEITE, M. K.; FIORELLI, J.; TOMAZELLO FILHO, M. Painel multicamada com reforço de partículas de bambu. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 103, p. 421-427, 2014.

BERALDO, A., PIMENTEL, L., LIMA, L., BARCHET, V. Efeito de Tratamentos Físico-Químicos sobre a Resistência à Compressão de Compósitos Madeira-Cimento. IN: Encontro Brasileiro de madeiras e de estruturas em madeira. **Anais...** v. 6, p. 263-271. Florianópolis: Ebramem. 1998.

BERNDSEN, R.S. **Caracterização anatômica, física e mecânica de lâminas de bambu (*Phyllostachys pubescens*)**. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e de Materiais) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba. 2008.

BIANCHE, J.J.; CARNEIRO, A.C.O.; VIDAL, B.R.; PEREIRA, F.A.; SANTOS, R.C.; SORATTO, D.N. Propriedades de painéis aglomerados fabricados com partículas de eucalipto (*Eucalyptus urophylla*), paricá (*Schizolobium amazonicum*) e vassoura (*Sida spp.*). **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 4, p. 623 - 630, 2012.

BIAZUS, A.; da HORA, A.B.; LEITE, B.G.P. Panorama de mercado: painéis de madeira. **BNDES setorial**, Rio de Janeiro, n.32, p.49-90, 2010.

BILESKY, P.R. **Caracterização química, física e anatômica do bambu *Guadua tagoara* para polpação Kraft**. 2014. 57 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2014.

BORTOLETTO JÚNIOR, G. **Estudo da qualidade da madeira de *Pinus taeda* L. proveniente de árvores adultas atingidas por incêndio florestal**. 173p. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR, 1999.

BOWYER, J.L.; SHMULSKY, R.; HAYGREEN, J.G. **Forest products and wood science: an introduction**. 4th ed. Ames: Iowa State Press, 554p, 2003.

BRASIL, M.A.M. MONTAGNA, R.G., COELHO, L.C.C., VEIGA, R.D.A. Densidade básica da madeira de *Pinus elliottii* var. *elliottii* em três regiões do Estado de São

Paulo. **Boletim Técnico Instituto Florestal**, v. 1, n. 36, p. 9-17, 1982.

BRITO, J.O.; TOMAZELLO FILHO, O.; SALGADO, A.L.B. Produção e caracterização do carvão vegetal de espécies e variedades de bambu. **Revista IPEF (Atual Scientia Forestalis)**, 36, p. 13-17. 1987.

BUAINAIN, A. M.; BATALHA, M. O. **Cadeia produtiva de madeira**. Brasília: IICA, 2007. 84 p.

BUFALINO, L.; PROTÁSIO, T. P.; CÉSAR, A. A. S.; SÁ, V. A. MENDES, L. M. Modelagem das propriedades físicas e mecânicas em painéis aglomerados de cedro australiano. **Floresta e ambiente**, Rio de Janeiro, v. 19, e. 2, p. 243-249, 2012.

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

CALEGARI, L. HASELEIN, C.R., SCARAVELLI, T.L., SANTINI, É.J., SNTAGUERLIN, D.M., GATTO, D.A., TREVISAN, R. Desempenho físico-mecânico de painéis fabricados com bambu (*Bambusa vulgaris* Schr.) em combinação com madeira. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 4, p. 57-63, out./dez. 2007.

CARLYLE, A.A.; MCGEE. L.B. MCLEAN. R.A. **Wood particle board handbook**. Raleigh. North Caroline University Press, 1956. 303 p.

CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; PIMENTA, A. S.; DELLA LUCIA, R. M. Propriedades de chapas de flocos fabricadas com adesivo de ureia-formaldeído e de taninos de casca de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden ou de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 5, p. 715-724, 2004.

CARPANEZZI, A.A.; PEREIRA, J.C.D.; CARVALHO, P.E. R.; REIS, A.; VIEIRA, A.R.R.; ROTTA, E.; STURION, J.A.; RAUEN, M.J.; SILVEIRA, R.A. **Zoneamento ecológico para plantios florestais no estado de Santa Catarina**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Florestas, Curitiba, 1988.

CASTRO, E.M. **Processo de produção mecânica de MDF**. Dissertação (Mestrado). Interunidades em Ciência e Engenharia de Materiais. São Carlos, 2000.

CASTRO E SILVA, R.M. **O bambu no Brasil e no mundo**. 2005. Disponível em: <<http://www.bambubrasileiro.com.br>> Acesso em: 15 dez. 2015.

CHUNG, Z. F. **The production and utilization of bamboo forest in China**. Hangzhou: China National Research Center of Bamboo, 2003.

CIARAMELLO, D.; AZZINI, A. Bambu como matéria prima para papel. Estudos sobre o emprêgo de *Bambusa vulgaris*, Schrad, *Bambusa vulgaris* Schrad var. *vittata* A & C Riv. e *Bambusa oldhami*, Munro, na produção de celulose sulfato. **O Papel** 32(2) :33-40. 1971a.

CIARAMELLO, D.; AZZINI, A. Bambu como matéria-prima. 3. estudos sobre o emprego de 4 espécies de *Bambusa*, na

produção de celulose sulfato. **Bragantia**, Campinas, 30(19): 199-214, 1971b.

CLOUTIER, A. Oriented stranboard (OSB): raw material, manufacturing process, properties of wood-base fiber and particle materials. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON SOLID WOOD PRODUCTS OF HIGH TECHNOLOGY, 1., 1998, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SIF, 1998. p. 173-185.

COLLI, A.; VITAL, B.R.; CARNEIRO, A.D.C.O.; SILVA, J. D.C.; CARVALHO, A.M.M.L.; LUCIA, R.M.D. Properties of particleboards made of paricá (*Schyzolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) particles and coconut (*Cocos nucifera* L.) fibers. **Revista Árvore**, v. 34, n. 2, p. 333-338, 2010.

COMMERCIAL STANDART. CS 236-66: Mat formed wood particleboard, 1968.

CORRÊA, G. R. **Desenvolvimento, produção e caracterização de compósitos de madeira-plásticos para aplicação na indústria moveleira.** 2004. 111 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Universidade Estadual de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.

CUNHA, A. B.; LONGO, B. L.; RODRIGUES, A. A.; BREHMER, D. R. Produção de painéis de madeira aglomerada de *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 102, p.259-267, 2014.

DALL'IGNA, C. **Protótipos de painéis MDP de bambu e resíduo madeireiro.** Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Curitibanos, 2015.

D'ALMEIDA, M. L. O. Composição química dos materiais lignocelulósicos. In: D'ALMEIDA, M.L.O. **Celulose e papel: tecnologia de fabricação da pasta celulósica.** 2.ed., São Paulo: IPT, 1988. v.1. p.45-106.

DE MELO, R. R., STANGUERLIN, D. M., DE SOUSA, A. P., DE CADEMARTORI, P. H. G., SCHNEID, E. Propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados madeira-bambu. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 1, p. 35-42, 2015.

DIN – Normen für Holzfaserplatten Spanplatten Sperrholz. **DIN 52362**: Testing of wood chipboards bending test, determination of bending strength. Berlin, 1982. 40p.

DINHANE, F. C. R. **Propriedades físico-mecânicas de painéis de mdp (medium density particleboard) constituído de bambu e fibra de coco.** 2016. 100 f. Dissertação (Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Bauru, São Paulo, 2016

DRISSEN, M.; DEVLIN, M. New Netherlands-China partnership to boost Africa's green development using bamboo. INBAR – Internaciona Network for bamboo & Rattan. **Bamboo and rattan database for Asia.** Netherlands, 2015.

DURATEX S. A. **Informação de valor.** 2009. Disponível em: <<http://www.investinfo.com.br/Temp/N05523YP.pdf>> Acesso em: 29 dez. 2015.

DURLO, M.A. Determinação de variáveis para caracterização de *Pinus elliottii* com finalidade estrutural. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL 6, 1988. Nova Prata, RS. **Anais ...** Nova Prata, 1988. p. 1097 - 1113.

ELEOTÉRIO JR., J.R. **Propriedades físicas de painéis MDF de diferentes densidades e teores de resina.** 121 p. Dissertação de mestrado. Escola Superior de Agricultura “Luís de Queiroz”. Universidade de São Paulo. Piracicaba; São Paulo, 2000.

EUROPEAN STANDARD. **EN 312: particleboards: specifications.** British Standard Institution, London, 2003. 22p.

FAN, C.; MA, J.; GUO, Q.; LI, X.; WANG, H.; LU, M. Selection of Reference Genes for Quantitative Real-Time PCR in Bamboo (*Phyllostachys edulis*). **PloS one**, v. 8, n. 2, p. e56573, 2013.

FAO. *Food and Agriculture Organization of the United Nations. Statistical Pocketbook: world food and agriculture.* 2015. Disponível em <<http://www.fao.org/3/a-i4691e.pdf>> Acesso em 02.12. 2015.

FERNÁNDEZ, M. A.V. **Avaliação dos processos de polpação soda-antraquinona e bissulfito-base magnésio para bambu.** 2010. 90f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ-USP. Piracicaba, SP. 2010.

FERREIRA, P. V. Estatística experimental aplicada à agronomia. 2. ed. Maceió: **Edufal**, 1996. 606 p.

FOIRELLI, J.; GALO, R. G.; GHAVAMI, K.; MÁRMOL, G.; SAVASTANO Jr. H.; BELINI, U. L. Multilayer particleboard with sugar cane bagasse and bamboo: termal-physical-mechanical properties. In: 10th International Conference on Composite Science and Technology. **Anais...** 2015

FOELKEL, C.E.B., BRASIL M.A.M.; BARRICHELO, L.E.G. Métodos para determinação da densidade básica de cavacos para

coníferas e folhosas. **O Papel**, Ano XXXIII, Agosto, 57-61, 1972.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood handbook: Wood as an engineering material**. Washington, DC. US. Department of Agriculture, Forest Products Laboratory, 1987. (Agriculture Handbook, 72).

FRANÇA, M.C. **Produção de painéis aglomerados de fibras oversize de uma indústria de MDF**. 2015. 170 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2015.

FRANKLIN, G.L. Permanent preparations of macerated wood fibers. **Tropical Woods**, v.49, p.21-2, 1937.

FREIRE, C. S.; SILVA, D. W.; SCATOLINO, M. V.; SILVA CESAR, A. A.; BUFALINO, L.; MENDES, L. M. Propriedades físicas de painéis aglomerados comerciais confeccionados com bagaço de cana e madeira. **Revista Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 18, n.2, p. 178-185, 2011.

FREIRE, A. L. F; FIGUEIRÊDO, M. C. B; ROSA, M. F.; ARAÚJO JÚNIOR, C. P. Impactos ambientais de painéis de madeira e derivados - Uma revisão de literatura. **Revista Espacios**, v. 36, p. 3, 2015.

GALVÃO A. P. M. **Reflorestamento de propriedades rurais para fins produtivos e ambientais**. Brasília: Embrapa. 2000. 351p.

GATCHELL, G. J.; HEEBINK, B. G.; HEFTY, F. V. Influence of component variables on the properties of particleboards for

exterior use. **Forest Products Journal**, v. 16, e. 4, p. 45-59, 1996.

GORSKI, L. Produção de painéis de partículas orientadas (OSB) a partir da madeira de *Pinus spp.* e *Eucalyptus benthamii Maiden et Cambage* em diferentes combinações. 2014. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2014.

GRECO, T.M.; CROMBERG, M. Bambu: cultivo e manejo. Florianópolis: Editora Insular, 2011.

GUIMARÃES JÚNIOR, M.; NOVACK, K.M.; BOTARO, V.R., PROTÁSIO, T.D.P.; COUTO, A.M. Caracterização físico-química de fibra e polpas de *Bambusa vulgaris* Schrad para utilização em compósitos poliméricos. **Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales**, v. 33, p.33-42. 2011.

HAN J.; XIA, D.; LI, L.; SUN, L.; YANG, K.; ZHANG, L. Diversity of culturable bacteria isolated from root domains of moso bamboo (*Phyllostachys edulis*). ***Microb Ecol***, v. 58: 363–73, 2009.

HIDALGO LOPEZ, O. Bambu: su cultivo y aplicaciones em: fabricación de papel, construcción, arquitectura, ingeniería, artesanía. Cali: SNT, 318 p. Boletim técnico, 1974.

HILLIG, E. Qualidade de chapas aglomeradas estruturais, fabricadas com madeiras de pinus, eucalipto e acácia negra, puras ou misturadas, coladas com tanino-formaldeído. 2000. 96 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2000.

HIZIROGLU, S.; JARUSOMBUTI, S.; FUEANGVIVAT, V.; BAUCHONGKOL, P.; SOONTONBURA, W.; DARAPAK, T. Properties of bamboo - rice straw - eucalyptus composite panels. **Forest Products Journal**, v. 55, e. 12, p. 221-225, 2005.

IBA. Indústria Brasileira de Árvores. 2015. **Anuário estatístico IBA - ano base 2015**. São Paulo, SP. 2015.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. 2015. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/>> Acesso em 06.12.2015.

ISAGI, Y.; KAWAHARA, T.; KAMO, K. Biomass and net production in a bamboo *Phyllostachys bambusoides* stand. **Ecological Research**, v. 8, p. 123 - 133, 1993.

IWAKIRI, S.; KEINERT JR, S. Utilização de diferentes espécies do gênero pinus para produção de painéis "waferboard". **IPEF (atual Scientia Forestalis)**, Piracicaba, n. 43/44, p. 65-69, 1990.

IWAKIRI, S.; SILVA, J.R.M.; MATOSKI, S.L.S.; LEONHADT, G.; CARON. J. Produção de chapas de aglomerado de cinco espécies de pinus tropicais. **Revista Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v.8, p.137-142, 2001.

IWAKIRI, S.; KINERT, S. J.; MENDES, L. M.; ALBUQUERQUE, C. E. C.; LATORRACA, J. V. F. Painéis de madeira. **FUPEF**, Curitiba, 2002.

IWAKIRI, S.; SHIMIZU, J.; SILVA, J. C.; DEL MENEZZI, C. H. S.; PUEHRINGHER, C. A.; VENSON, I.; LARROCA, C. Produção de painéis de madeira aglomerada de *Grevillea*

robusta A. Cunn. ex R. Br. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n.6, p. 883-887, 2004.

IWAKIRI, S. Painéis de madeira reconstituída. **FUPEF**, Curitiba, 2005.

IWAKIRI, S.; ANDRADE, A. S.; CARDOSO JUNIOR, A. A.; CHIPANSKI, E. R.; PRATA, J. G.; ADRIAZOLA, M. K. O. Produção de painéis aglomerados de alta densificação com uso de resina melamina-ureia-formaldeido. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 4, p.323-328. 2005.

IWAKIRI, S.; VIANEZ, B. F.; WEBER, C.; TRIANOSKI, R.; ALMEIDA, V. C. Avaliação das propriedades de painéis aglomerados produzidos com resíduos de serrarias de nove espécies de madeiras tropicais da Amazônia. **Revista Acta Amazonia**, v. 42 n.1, p. 59–64, 2012a.

IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M.; TRIANOSKI, R.; PRATA, J. G. Produção de painéis aglomerados homogêneos e multicamadas de melia azedarach (cinamomo) e pinus taeda com diferentes teores de resina. **Revista Cerne**, Lavras, v. 18, n. 3, p. 465- 470, jul./set. 2012b.

IWAKIRI, S. **Painéis de Madeira Aglomerada**. UFPR/DETF, 2014.
Disponível em:
<http://www.madeira.ufpr.br/disciplinassetsuo/setsuo-pma.pdf>.
Acesso em: 01/02/2016.

JARAMILLO, S.V. La Gradua em los grandes proyectos de inversion. IN; Congresso mundial de bambu/Gradua, I., 1992, Pereira. **Anais...** Pereira, 1992. 219 p.

JOSELEAU, J. P. IMAI, T., KURODA, K., RUEL, K. Detection in situ and characterization of lignin in the Glayer of tension

wood fibres of *Populus deltoids*. **PLANTA**, Berlin, v.219, n. 2, p. 338-345, 2004.

JOSÉ, F. J. **Chapa de partículas homogêneas de bambu aglomeradas com resina poliuretana bi-componente à base de óleo de mamona.** 120 f. Dissertação (Mestrado) – Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Campinas, SP, 2006.

JOVANOVSKI, A.; POBLETE, H.; TORRES, M.; FERNANDEZ, A. Caracterización preliminar tecnológica de *Pinus ponderosa* (Dougl.) creciendo en Chile. **Bosque**, v. 19, n. 2, p. 71-76, 1998.

JUNIOR, A. L. B. **Avaliação do potencial energético da biomassa de duas espécies de bambu cultivadas em santa catarina.** 128 f. Dissertação (Mestrado) – Pós-graduação em Engenharia Florestal, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, SC, 2015.

JUVENAL, T.L.; MATTOS, R.L.G. **O setor florestal no Brasil e a importância do reflorestamento.** Rio de Janeiro: BNDES Setorial, p. 7, 11, 26- 27, 2002.

KASIM, J.; AHMAD, A. J. H.; HARUN, J.; ASHARI, Z.; MOHMOD, L.; YUSOF, M. N. M. Properties of particleboard manufactured from commonly utilized Malaysian bamboo (*Gigantochloa scorchedinii*). **Pertanika Journal Tropical Agricultural Science**, v. 24, e. 2, p. 151-157, 2001.

KEINERT JR.S.; MATOS, J.L.M. Utilização de *Pinus pinaster* para fabricação de chapas de partículas. **Floresta**, v. 17, n. 1-2, p. 113-120, 1987.

KELLY, M. W. **A critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of**

particleboards. U.S. Forest Products Laboratory General Technical Report FPL-10, Madison, 1977. 66p.

KERSCHBAUMER, F.E. **Potencial energético de bambus plantados no Brasil : *Phyllostachys bambusoides* (Madake), *Phyllostachys nigra* cv henonis (Hatiku) e *Phyllostachys pubescens* (Mossô).** 56 f. 2014. Dissertação (Mestrado) - Pós-Graduação em Bioenergia da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2014.

KLEINE, H.J.; FOELKEL, C. **Bambu:** matéria-prima para a fabricação de celulose e papel. CIF Florestas, 2012. Disponível em: < <http://painelflorestal.com.br/noticias/artigo/> >. Acesso em: 25 Janeiro, 2016.

KLOCK, U. **Qualidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* H. E. Morre.** Curitiba. 2000. 297p. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR. 2000.

KLOCK, U.; MUÑIZ, G. I. B. DE; HERNANDEZ, J. A.; ANDRADE, A. S. de; **Química da madeira**, 3º ed., Curitiba, 2005.

KOLLMANN, F. F. P. **Tecnología de la Madera y sus aplicaciones.** Madrid. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias y Servicio de la Madera. 1959. 647 p.

KOLLMANN F. F. P.; KUENZI, E. W.; STAMM, A. J. **Principles of wood science and technology II. Wood based materials**, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1975.

LAHR, F.A.R.; CHRISTOFORO, A.L.; **Painéis de partículas de madeira e de materiais lignocelulósicos.** São Carlos: EESC/USP, p 339, 2013.

LARA PALMA, H. A. **Painéis de madeira.** Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agronômicas. 40 f. 2009.

LEE, A.W.C.; BAI, X.; BANGI, A.P. Selected properties of laboratory-made laminated-bamboo lumber. **Holzforschung-International Journal of the Biology, Chemistry, Physics and Technology of Wood**, v. 52, n. 2, p. 207-210, 1998.

LI, X. **Physical, Chemical, and Mechanical Properties of bamboo and its utilization potential for fiberboard manufacturing.** 2004. 68p. Tese (Master of Science in Renewable Natural Resources)-Faculty of Agriculture and Mechanical College, Louisiana State University, Louisiana, 2004.

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

LIMA, A.M.; VIDAUURRE, G.B.; LIMA, R.M.; BRITO, E.O. Utilização de fibras (epicarpo) de babaçu como matéria-prima alternativa na produção de chapas de madeira aglomerada. **Revista Árvore**, Viçosa, v.30, p. 645-650, 2006.

LIMA, C.K.P. **Avaliação da qualidade de juntas coladas da madeira de clones de *Eucalyptus*.** 2006. 76p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2006.

LIMA, C. K. P.; MORI, F. A.; MENDES, L. M.; CARNEIRO, A. D. C. O. Características anatômicas e química da madeira de clones de *Eucalyptus* e sua influência na colagem. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 2, p. 123-129, 2007.

LIMA, D.M. **Bambu laminado colado (*Dendrocalamus giganteus*) aplicado à treliça plana tipo Howe e à viga**

retangular. 2013. 236 p. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2013.

LISBÃO JR., L. Bracatinga como fonte energética. Curiba: Embrapa - Unidade regional de pesquisa florestal centro-sul (URPFCS), 1981.

LONDONO, X. La Subtribu Guaduinae de América, SIMPOSIO INTERNACIONAL GUADUA; Pereira, Colômbia, 2004.

LONGO, B. L. Potencial do resíduo de espécies tropicais para a produção de painéis particulados. 2014. 150 p. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2014.

LONGO, B. L.; CUNHA, A. B.; RIOS, P. D; TEREZO, R, F.; ALMEIDA, C. C. F. Caracterização tecnológica de painéis particulados produzidos com resíduos de cinco espécies tropicais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 108, p.907-917, 2015.

LOPEZ, O.H. Bamboo, The gift of the gods. Oscar Hidalgo Lopez Editor. 553 p. 2003.

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

MALONEY, T.M. Modern particleboard e dry-process fiberboard manufacturing. San Francisco: Miller Freeman, 1989. 672 p.

MALONEY, T.M. **Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing.** 2 ed. San Francisco: Miller Freeman, 1993. 689p.

MALONEY, T.M.; TALBOTT, J.W.; STICKLER, M.D.; LENTZ, M.D.; MARTIN, T. **Composition board from standing dead white pine and dead lodgepole pine.** Pages 27–104 in T.M. Maloney, ed. Proceedings of the 10th Washington State University symposium on particleboard, Pullman, WA, 1976.

MANHÃES, A.P. **Caracterização da cadeia produtiva do bambu no Brasil: abordagem preliminar.** 32 f. Monografia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008.

MARINHO, N. P.; NISGOSKI, S.; KLOCK, U.; ANDRADE, A. S.; MUNIZ, G. I. B. Análise química do bambu-gigante (*Dendrocalamus giganteus* Wall. ex Munro) em diferentes idades. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 2, p. 417-422, 2012.

MARINHO, N. P; NASCIMENTO, E. M; NISGOSKI, S; VALARELLI, I. D. Some physical and mechanical properties of medium-density fiberboard made from giant bamboo. **Materials Research**, São Carlos, vol. 16, n. 6, p. 1398-1404, 2013.

MARRA, A.A. **Technology of wood bonding: principles and practice.** New York, Van Nostrand Reinhold, 1992, 453p.

MATOS, J. L. M. **Ciclo da prensa em chapas de partículas estruturais Waferboards.** 164 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1988.

MATTOS, R.L.G., GONÇALVES, R.M., CHAGAS, F.B. Painéis de madeira Brasil: panorama e perspectivas. *BNDS setorial*: 2008. 121-156.

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

MELO, R. R.; SANTINI, E. J.; HASELEIN, C. R.; GARLET, A.; PAES, J. B.; STANGERLIM, D. M. Resistência de painéis aglomerados produzidos com diferentes porções de madeira e casca de arroz a fungos e cupins xilófagos. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 3, p. 501-511 jul.-set., 2010.

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

MELO, R. R; STANGERLIN, D. M.; SOUSA, A. P. D.; CADEMARTORI, P. H. G. D.; SCHNEID, E. Physical mechanical properties of wood-bamboo particleboard. **Ciência Rural**, v. 45, n. 1, p. 35-42, 2015.

MENDES, L.M.; ALBUQUERQUE, C.E.C. de. Aspectos técnicos e econômicos da indústria brasileira de chapas de fibras e partículas. **Revista da Madeira**, São Paulo, n.53, p.14-22, 2000.

MENDES, L.M. *Pinus spp. na produção de painéis de partículas orientadas.* Curitiba, 2001. 156p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Ciências Agrárias. UFPR, Paraná, 2001.

MENDES, L.M.; IWAKIRI, S.; MATOS, J.L.M.; KEINERT, S.; SALDANHA, L.K. *Pinus* spp. na produção de painéis de partículas orientadas (OSB). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 135-145, 2005.

MENDES, R.F.; MENDES, L.M.; ABRANCHES, R.A.S.; SANTOS, R.C.D.; GUIMARÃES JÚNIOR, J.B. Painéis aglomerados produzidos com bagaço de cana em associação com madeira de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 86, p. 285-295, 2010.

MENDES, R.F.; MENDES, L.M.; GUIMARÃES JÚNIOR, J. B. MORI, F. A. CÉSAR, A. A. S. Efeito da incorporação de casca de café nas propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake. **Ciência e agronegócios**. v.34 n.3, Lavras, 2010.

MENDES, L.M.; MENDES, R.F.; TONOLI, G.H.D.; BUFALENO, L.; MORI, F.A.; GUIMARÃES JÚNIOR, J.B. Lignocellulosic Composites Made from Agricultural and Forestry Wastes in Brazil. **Key Engineering Materials**, v. 517, p. 556-563, 2012.

MENDES, R. F.; MENDES, L. M.; MENDONÇA, L. L.; JÚNIOR, J. B. G.; MORI, F. A. Qualidade de painéis aglomerados homogêneos produzidos com a madeira de clones de *Eucalyptus urophylla*. **Cerne**, v.20 n.2, Lavras, 2014.

MERA, T.; ANTONIO, A.; XU, C. Plantation management and resource economics of bamboo in China. **Ciencia y Tecnología**, v. 7, n. 1, 2014.

MILAGRES, E.G. **Compósitos de partículas de madeira de *Eucalyptus grandis*, polipropileno e polietileno de alta e baixa densidade.** 84 f. Tese (Doutorado) – Programa de pós-graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2004.

MISKALO, E.P. **Avaliação do potencial de utilização de bambu (*Dendrocalamus giganteus*) na produção de painéis de partículas orientadas.** 130 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Paraná, Curitiba, 2009.

MOIZÉS, F.A. **Painéis de Bambu, uso e aplicações: uma experiência didática nos cursos de Design em Bauru, São Paulo.** 2007. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Desenho Industrial da Universidade Estadual Paulista, 2007.

MORAIS, W.W.C. **Propriedades físico-mecânicas de chapas aglomeradas produzidas com bambu, pinus e eucalipto.** 2011. 132 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, Santa Maria, 2011.

MOSLEMI, A.A. **Particleboard.** Illinois: Southern Illinois University Press. v.2, 245p. 1974.

NASCIMENTO, A. M.; XAVIER, L. M. **Densidade básica e retratibilidade volumétrica de *Dendocalamus giganteus*, *Bambusa tuloides*, *Bambusa vulgaris* e *Phyllostachys aurea*.** XIII EMBRAMEM – 23 a 25 de julho de 2012.

NATIONAL MISSION ON BAMBOO APPLICATIONS - NMBA. **Processing bamboo shoots.** Training manual. New Delhi, India. 27 p. 2004.

NGUYEN, H.N. Bamboos of Vietnam. **Agricultural publishing house.** Hanoi, 2006.

NOGUEIRA, C.L. **Painel de bambu laminado colado estrutural.** 2008. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Produtos Florestais). São Paulo: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 92p. 2008.

OKINO, E.Y.A., ANDAHUR, J.P.V., SANTANA, M.A.E., SOUZA, M.D. Resistência físico mecânica de chapas aglomeradas de bagaço de cana-de-açúcar modificado quimicamente. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 52, p. 35-42, jul./dez. 1997.

PEREIRA, M.A.R. **Características hidráulicas de tubos de bambu gigante (*Dendrocalamus giganteus*).** 1997. 161 f. Tese (Doutorado) - Unesp, Faculdade de Ciências Agronômicas, 1997.

PEREIRA, M.A.R. **Bambu, Espécies Características & Aplicações.** UNESP/CAMPUS DE BAURU, 2001, 58 p.

PEREIRA, M. A. R.; BERALDO, A. L. **Bambu de corpo e alma.** Bauru, SP: Canal 6, 2008. 240p.

PIERRE, F.C. **Caracterização físico-mecânica de painéis aglomerados de *Eucalyptus grandis* com adição de resíduos industriais madeireiros.** 2004. 122 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

POZO, P.D. **Ingeniería Sismorresistente – COSTOS SAC.** Reglamento Nacional de Edificaciones. Lima-Perú, 2006.

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

PROTÁSIO, P. T.; JÚNIOR, J. B. G.; MENDES, R. F.; MENDES, L. M.; GUIMARÃES, B. M. R. Correlações entre as Propriedades Físicas e Mecânicas de Painéis Aglomerados de Diferentes Espécies de *Eucalyptus*. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 2, p. 123-132, 2012.

RAYMOND, C. A. Tree breeding issues for solid wood products. In: THE FUTURE OF EUCALYPTS FOR WOOD PRODUCTS. 2000, Launceston, Tasmania. **Proceedings....** Launceston: IUFRO, p. 265 – 270, 2000.

REZENDE, M.A., SAGLIETTI, J.R.C., CHAVES, R. Variação da massa específica da madeira de *Eucalyptus grandis* aos 8 anos de idade em função de diferentes níveis de produtividade. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.53, p. 71–78. 1998.

RIGATTO, P. A.; DEDECEK, R. A.; MATOS, J. L. M. de. Influência dos atributos do solo sobre a qualidade da madeira de *Pinus taeda* para produção de celulose Kraft. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 267-273, mar./abr. 2004.

ROQUE, C. A. L. **Painéis de Madeira Aglomerada**. Disponível em: <www.bndes.gov.br>. Acesso em: 31/05/2016.

ROWELL, R. M.; M, NORIMOTO. Dimensional Stability of Bamboo Particleboards Made from Acetylated Particles. **Mokuzai Gakkaishi**, v. 34, e. 7, p. 627-629, 1988.

ROWELL, R. M.; HAN, J. S.; ROWELL, J. S. Characterization and factors affecting fiber properties. In: FROLLINI, E.; LEÃO,

A.L.; MATTOSO, L.H.C. (Ed.) **Natural polymers and agrofibers based composites.** São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, p.115-134, 2000.

RYDHOLM, S.A. Pulp and Paper Processes. **Interscience Publications**, New York. pp.1049. 1965.

SANCHES, F.L. **Qualidade de painéis aglomerados produzidos com mistura de madeira de quatro espécies florestais.** 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciências florestais), Universidade Estadual do Centro-Oeste, Iraty, 2012.

SALDANHA, L.K. **Alternativas tecnológicas para produção das chapas de partículas orientadas “OSB”.** 83 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

SANCHES, F. L. **Qualidade de painéis aglomerados produzidos com mistura de madeira de quatro espécies florestais.** 93f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual do Centro Oeste, Iraty, 2012.

SANTI, T. Bambu para toda obra. **Revista O Papel**, v. 76, n. 4, p. 22-34, abr., 2015.

SANTOS, R. C. **Aproveitamento de resíduos da madeira de candeia (*Eremanthus erythropappus*) para produção de chapas de partículas.** 2008. 159 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira). Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2008.

SANTOS, S. R. **influência da qualidade da madeira de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e do processo Kraft de polpa na qualidade da polpa**

branqueada. 160 f. Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

SCATOLINO, M. V.; SILVA, D. W.; MENDES, R. F.; MENDES, L. M. Maize cob utilization in particleboards production. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 37, n. 4, 2013.

SCHULTZ, R.P. **Loblolly pine - The ecology and culture of loblolly pine (*Pinus taeda* L.).** USDA Forest Service. Agricultural Handbook. 514p. 1997.

SCURLOCKA, J.M.O.; DAYTONB, D.C.; HAMESB, B. Bamboo: An overlooked biomass resource. **Biomass Bioenergy**, v. 19, 229-244, 2000.

SEKINO, N., IRLE, M. A. Particleboard hygroscopicity: its prediction and the influence of hot-pressing. **Journal of the Japan Wood Research Society**, Tokyo, v.42, n.1, p.43-50, 1996.

SELMANI, Y. **Analyse des flux physiques de bois à l'intérieur de la filière bois.** 241 f. Tese (Doutorado). Thèse de doctorat. Engref, Nancy, 1992.

SHIMIZU, J. Y. **Cultivo do Pinus (Espécies).** Embrapa, nov. de 2005. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pinus/CultivodoPinus/apresentacao.htm>> Acesso em: 31.12.2015.

SHIMIZU, J. Y. **Pinus na silvicultura brasileira.** Embrapa Florestas, Colombo, 2008.

SHIMOYAMA, V.R.S.; BARRICELLO, L.E.G. Influência de características anatômicas e químicas sobre a densidade básica da madeira de *Eucalyptus* spp. In: CONGRESSO ANUAL DE

CELULOSE E PAPEL, 24, 1991, São Paulo. **Anais...** São Paulo, ABTCP, 1991. p.178-183.

SILVA, G. A.; MENDES, L. M.; CALEGARIO, N.; MORI, F. A.; SILVA, I. R. M.; SANTOS, I. F. Estimativa da umidade de equilíbrio de painéis de madeira. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 70, p. 23-29, 2006a.

SILVA G. A.; MENDES, L. M.; TRUGILHO, P. F.; MORI, F. A.; SANTOS, I. F.; PÁDUA, F. A. Efeito de algumas variáveis de processamento nas propriedades físicas de painéis de madeira de partículas alongadas. **Ciência Florestal**, v. 16, n.1, p. 51-60, 2006b.

SOARES, M. **Análise do uso do bambu como painéis e como reforço de ligações entre elementos estruturais**. 131 f. Dissertação (mestrado) – Programa de pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

SORENG, R.J., PETERSON, P.M., ROMASCHENKO, K., DAVIDSE, G., ZULOAGA, F.O., JUDZIEWICZ, E.J., MORRONE, O. A worldwide phylogenetic classification of the Poaceae (Gramineae). **Journal of Systematics and Evolution**, v. 53, n. 2, p. 117-137, 2015.

SOUZA, A. P. C. C. **Bambu na habitação de interesse social no brasil**. 2004. 29 f. Graduação - Curso de Arquitetura, Departamento de Arquitetura, Puc Minas, Belo Horizonte, 2004.

SOUZA, M.M.; SILVA, D.A.; ROCHADELLI, R.; SANTOS, R.C. Estimativa de poder calorífico e caracterização para uso energético de resíduos da colheita e do processamento de *Pinus taeda*. **FLORESTA**. Curitiba, PR, v. 42, n. 2, p. 325 - 334, abr./jun. 2012.

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, e. 2, p. 17-22, 2010.

SURDI, P. G.; BORTOLETTO Jr, G.; CASTRO, V. R.; MENDES, R. F., ALMEIDA, N. F. D.; TOMAZELLO FILHO, M. Relação entre perfil de densidade e ligação interna de painéis OSB de *Pinus* spp. **Floresta e Ambiente**. Rio de Janeiro, v. 21, N. 3, p. 349-357, 2014.

TARGA, G. N. **Compósito Reforçado por Laminado de Bambu com Matriz de Poliuretano e Epóxi: Desenvolvimento, Produção e Caracterização Mecânica**. 53 f. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Florianópolis, 2011.

TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY - TAPPI; T 222 om-02. **Acid-insoluble lignin in wood and pulp**. 5p., 2002.

TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY - TAPPI; T 413 om-93. **Ash in wood, pulp, paper and paperboard: combustion at 900°C**. 4 p. 1993.

TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY - TAPPI; T 258 om-11. **Basic density and moisture content of pulpwood**. 8p. 2011.

TEIXEIRA, D. E.; COSTA, A. F.; SANTANA, M. A. E. Aglomerados de bagaço de cana-de-açúcar: resistência natural ao ataque de fungos apodecedores. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 52, p. 29-34, 1997.

TEIXEIRA, A.A. **Painéis de bambu para habitação econômica: Avaliação do desempenho de painéis revestidos com argamassa.** 177 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília-UNB. Brasília, 2006.

TEIXEIRA, M. de F. **Processo de fabricação de móveis utilizando-se chapa de fibras de madeira de média densidade (MDF ou MDP).** 2010. Monografia (Especialista) – Pós-graduação “Lato Sensu”, Universidade Candido Mendes, Rio de Janeiro, 2010.

TEODORO, R.; RAABE, J.; SILVA, D. W.; MENDES, R. F.; MENDES, L. M.; DENZIN TONOLI, G. H. Functionally graded MDP panels using bamboo particles. **Key Engineering Materials**, v. 668, p. 39-47, 2015.

TOMAZELLO FILHO, M; AZZINI, A. Estrutura anatômica, dimensões das fibras e densidade básica de colmos de *Bambusa vulgaris* Schrad. **IPEF (atual Scientia Forestalis)**, n.36, p.43-50, 1987.

TORQUATO, L. P. **Caracterização dos painéis MDF comerciais produzidos no Brasil.** 2008. 93 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de pós-graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

TRAN V. H. **Growth and quality of indigenous bamboo species in the mountainous regions of Northern Vietnam.** Thèse, Georg-August-Universität, Göttingen, Allemagne, 123 p. 2010.

TRIANOSKI, R. Avaliação do potencial de espécies florestais alternativas, de rápido crescimento, para produção de painéis de madeira aglomerada. 260 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Paraná, 2010.

TRIANOSKI, R; MATOS, J.L.M; IWAKIRI, S; PRATA, J.S; Variação longitudinal da densidade básica da madeira de espécies de *Pinus* tropicais, **Revista Floresta**. Curitiba, v. 43, n.3, 2013.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure, properties, utilization.** New York: Chapman & Hall, 1991. p. 309-339.

VALE, A. T.; DIAS, I. S.; SANTANA, M. A. E. Relação entre as propriedades químicas, físicas e energéticas da madeira de cinco espécies do cerrado. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n.1, p. 137- 145, 2010.

VALENÇA, A.C.V.; ROQUE, C.A.; SOUZA, P.Z. Painel de madeira aglomerada. **Revista da Madeira**, ano 8, v.48, p.14-18, 1999.

VALENÇA, A.C.V; ROQUE, C.A.; SOUZA, P.Z. MDF-Medium Density Fiberboard. **Gerência Setorial**, 2007.

VASQUES, A. G.; NOGUEIRA, A. S.; KIRCHNER, F. F.; BERGER, R. Uma síntese da contribuição do gênero *Pinus* para o desenvolvimento sustentável no sul do Brasil. **Revista Floresta**, v. 37, n. 3, Curitiba, 2007.

VITAL, B. R.; WILSON, J. B. Efeito da forma geométrica dos flocos e partículas, da densidade das chapas e do tipo de adesivo nas propriedades mecânicas das chapas de madeira

aglomerada. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 4, n. 2, p. 179-187, 1980.

VITAL, B.R.; HASELEIN, C.R. Quality of particleboards produced with "Embaúba" (*Cecropia* sp.) and bamboo (*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 das chapas de madeira aglomerada de *Eucalyptus grandis* (Hill ex-Maiden). **Revista Árvore**, Viçosa, v.16, n.1, p.88-96, 1992.

WEBER, C. **Estudo sobre viabilidade de uso de resíduos de compensados, MDF e MDP para produção de painéis aglomerados**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Curitiba. 2011.

WONG, E. D.; ZHANG, M.; WANG, Q.; KAWAI, S. Effects of mat moisture content and press closing speed on the formation of density profile and properties of particleboard. **Japan Wood Science**, Tokyo, v.44, p.287-295, 1998.

WU, Q. Application of Nelson's sorption isotherm to wood composites and overlays. **Wood and Fiber Science**, v.28, n.2, p.227-239, 1999.

XIAO Y.; INOUE M.; PAUDEL S. K. (Org.). **Modern bamboo structures**. Boca Raton: CRC Press, 2008.

XAVIER, L. M.; COLLI, A.; MONTEIRO, M. B. O.; PEREIRA, R. P. W.; NASCIMENTO, A. M. Caracterização química de duas espécies de bambu *Phyllostachys aurea* e

Bambusa tuldaoides. In: SBPC (Ed.); Anais da 57^a Reunião Anual da SBPC. **Anais...** p.1-2, 2005. Fortaleza: SBPC.

YANG, Y. M.; XUE, J. R. Bamboo resources and their utilization in China. In: **Proceedings of the Workshop ‘Bamboo Conservation, Diversity, Ecogeography, Germplasm, Resource Utilization and Taxonomy’, Kunming and Xishuangbanna, Yunnan, China**. p. 10-17. 1998.

YUE, Y. Bamboo value chain in China and the importance of research for value chain development. **International Center for bamboo and Rattan (ICBR). Researched February**, v. 9, p. 2013, 2012.

ZHANG, M.; WONG, E. D.; KAWAI, S.; KNON, J. H. Manufacture and properties of high-performance oriented strand board composite using thin strands. **Journal of Wood Science**, Tokyo, v. 44, n. 3, p. 191-197, 1998.

ZHENG, Y.; PAN, Z.; ZHANG, R.; JENKINS, B. M.; BLUNK, S. Properties of medium-density particleboard from saline Athel wood. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 23, n. 3, p. 318-326, 2006.

ZHENGPING, W.; STAPLETON, C. **PHYLLOSTACHYS** Siebold & Zuccarini, Abh. Math.-Phys. Cl. Königl. Bayer. Akad. Wiss. 3: 745. 1843, nom. cons., not Torrey (1836), nom. rej. **Flora of China**. v. 22: p. 163–180. 2006.

ZHOU, F. C. Studies on physical and mechanical properties of bamboo woods. **Journal of Nanjing Technology College of Forest Products**, v. 2, p.1-32, 1981.

APÊNDICES

Apêndice A

Tabela 37 - Matriz de correlação simples – Propriedades físicas

Matriz de Correlação: Pearson

	%E	%B	%P	DE	PF	RC	TU	AA2H	A24H	I24H	IE24H	TNRE
DE	-0,20	0,88*		-0,75*		1						
PF	-0,39	-0,21		0,66*	-0,41	1						
RC	-0,98	0,65		0,37	0,31	0,37	1					
TU	0,12	-0,64		0,58	-0,78*	0,61	-0,19	1				
AA2H	0,37	0,27		-0,71*	0,43	-0,54	-0,33	-0,30	1			
AA24H	0,30	-0,06		-0,26	-0,08	-0,29	-0,31	0,05	0,72*	1		
IE2H	-0,19	0,00		0,20	-0,08	-0,19	0,18	-0,16	0,42	0,45	1	
IE24H	-0,09	0,03		0,07	-0,02	-0,15	0,09	-0,23	0,53	0,61	0,94*	1
TNRE	-0,17	0,22		-0,05	0,12	-0,31	0,15	-0,44	0,53	0,57	0,85*	0,93*
												1

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro. %E = Porcentagem de *Phyllostachys edulis*; %B = Porcentagem de *Phyllostachys bambusoides*; %P = Porcentagem de *Pinus* spp.; DE = Densidade; PF = Perfil de densidade; RC = Razão de compactação; TU = Teor de umidade; AA2h = Absorção de água em 2 horas; AA24h = Absorção de água em 24h; IE2h = Inchamento em espessura em 2 horas; IE24h = Inchamento em espessura em 24h; TNRE = Taxa de não-retorno em espessura. Produção do próprio autor, 2016.

Apêndice B

Tabela 38 - Matriz de correlação simples – Propriedades mecânicas

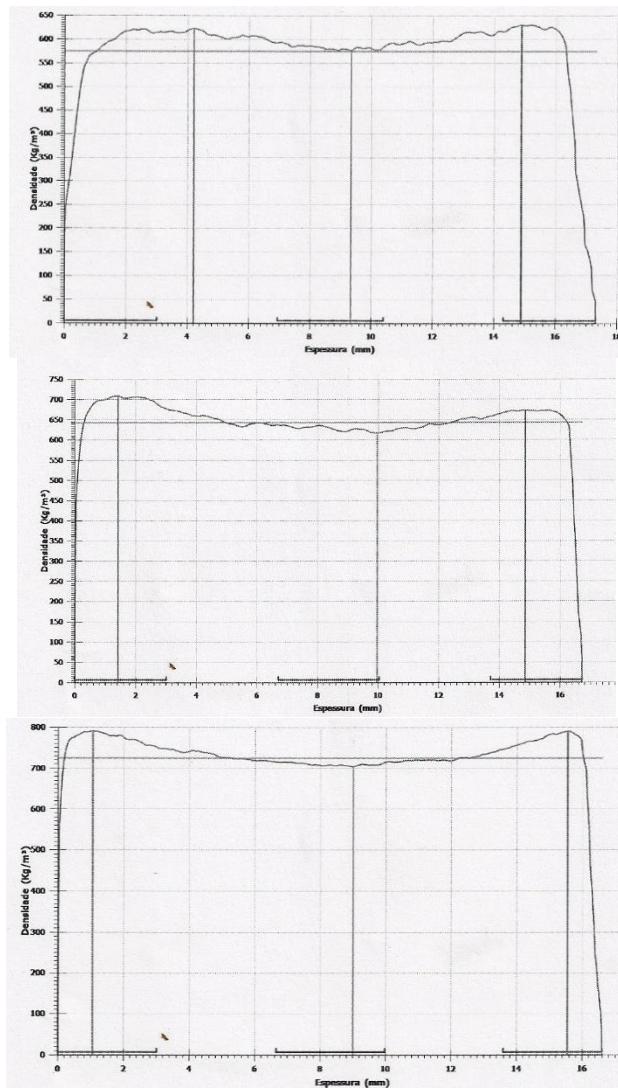
	%E	%B	%P	DE	PF	RC	TU	MORMOE	APT	APS	TP
DE	0,45	0,17	-0,69*	1							
PF	-0,39	-0,21	0,66*	-0,38	1						
RC	-0,81	0,03	0,86*	-0,74*	0,56	1					
TU	0,12	-0,64	0,58	-0,09	0,61	0,23	1				
MOR	-0,28	-0,32	0,66*	0,01	0,65*	0,51	0,73*	1			
MOE	0,00	-0,30	0,33	0,33	0,39	0,19	0,59	0,88*	1		
APT	0,25	0,09	-0,37	0,83*	0,01	-0,43	0,26	0,42	0,68*	1	
APS	0,24	0,18	-0,46	0,87*	-0,20	-0,50	0,22	0,26	0,48	0,83*	1
TP	-0,06	-0,62	0,74*	-0,47	0,48	0,50	0,82*	0,62	0,39	-0,16	-0,11

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro. %E = Porcentagem de *Phyllostachys edulis*; %B = Porcentagem de *Phyllostachys bambusoides*; %P = Porcentagem de *Pinus* spp.; DE = Densidade; PF = Perfil de densidade; RC = Razão de compactação; TU = Teor de umidade; MOR = Módulo de ruptura; MOE = Módulo de elasticidade; APT = Arranque de parafuso no topo; APS = Arranque de parafuso na superfície; TP = Tração perpendicular. Produção do próprio autor, 2016.

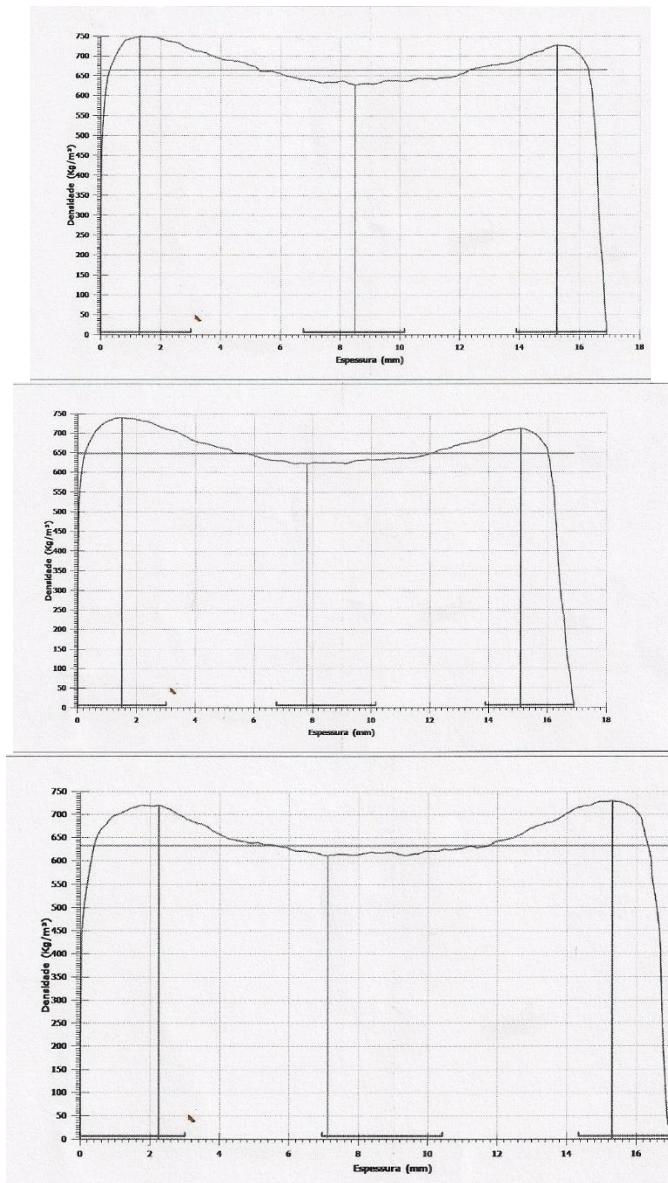
Apêndice C

Figura 35 - Gráficos de perfil de densidade dos painéis homogêneos.

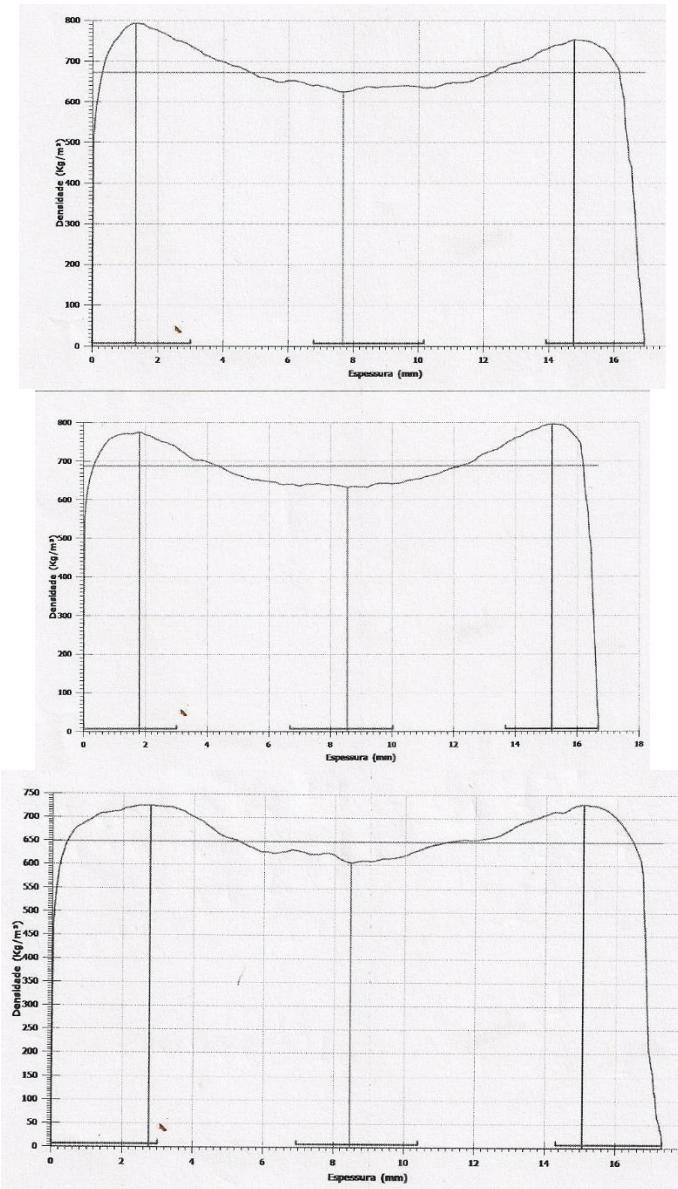
Tratamento 1.



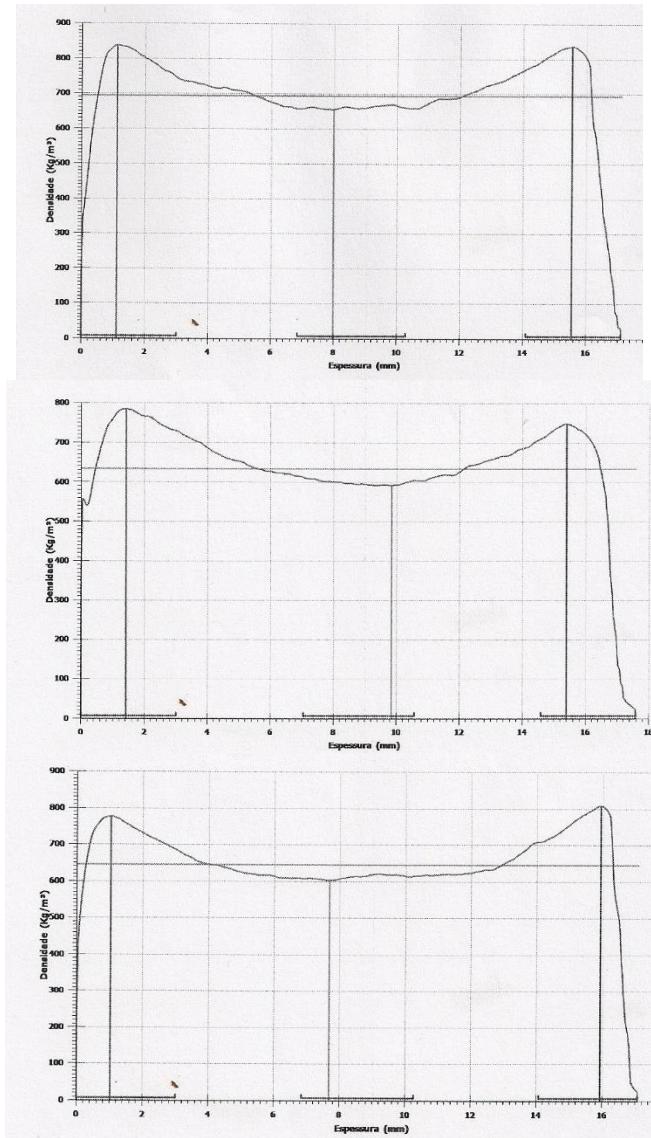
Tratamento 2.



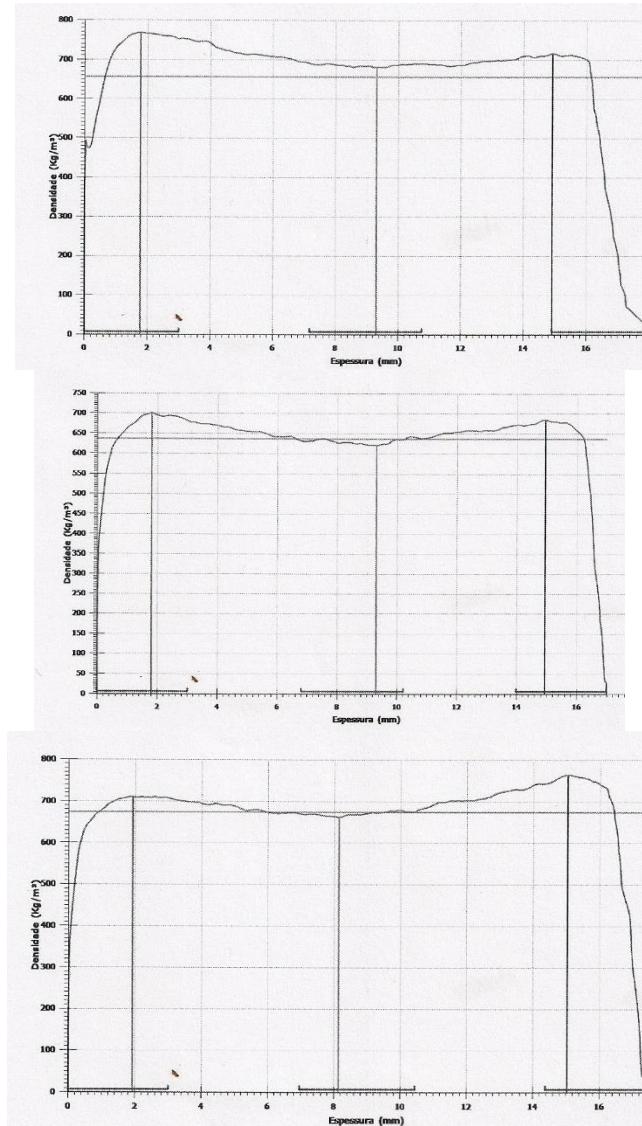
Tratamento 3.



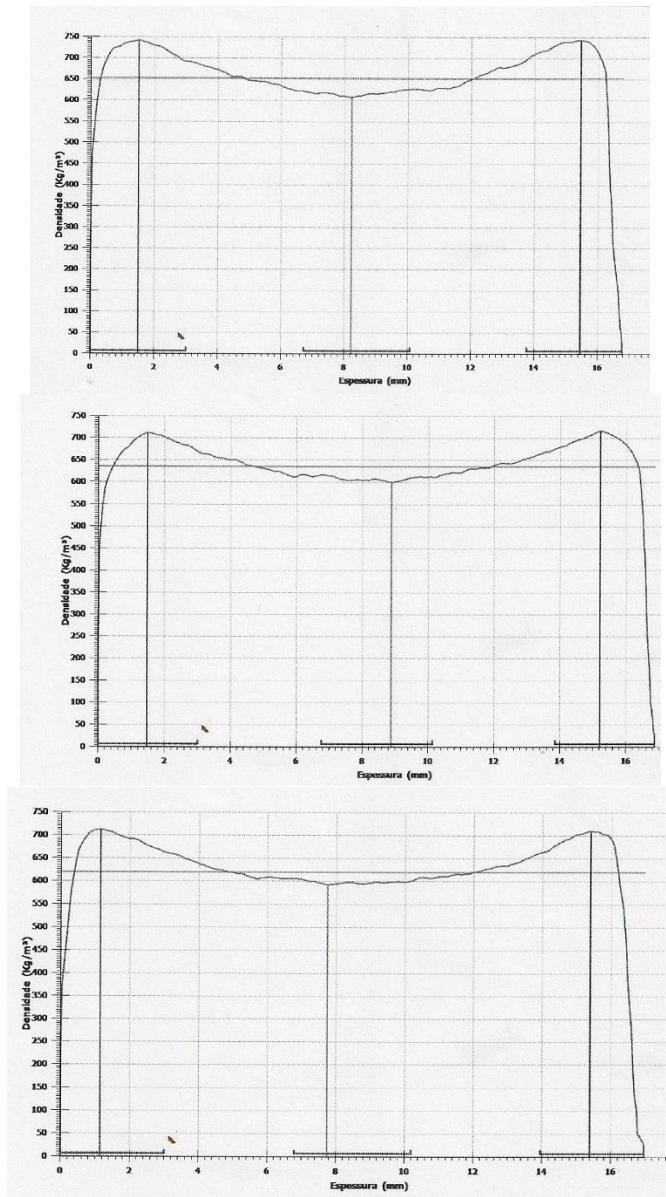
Tratamento 4.



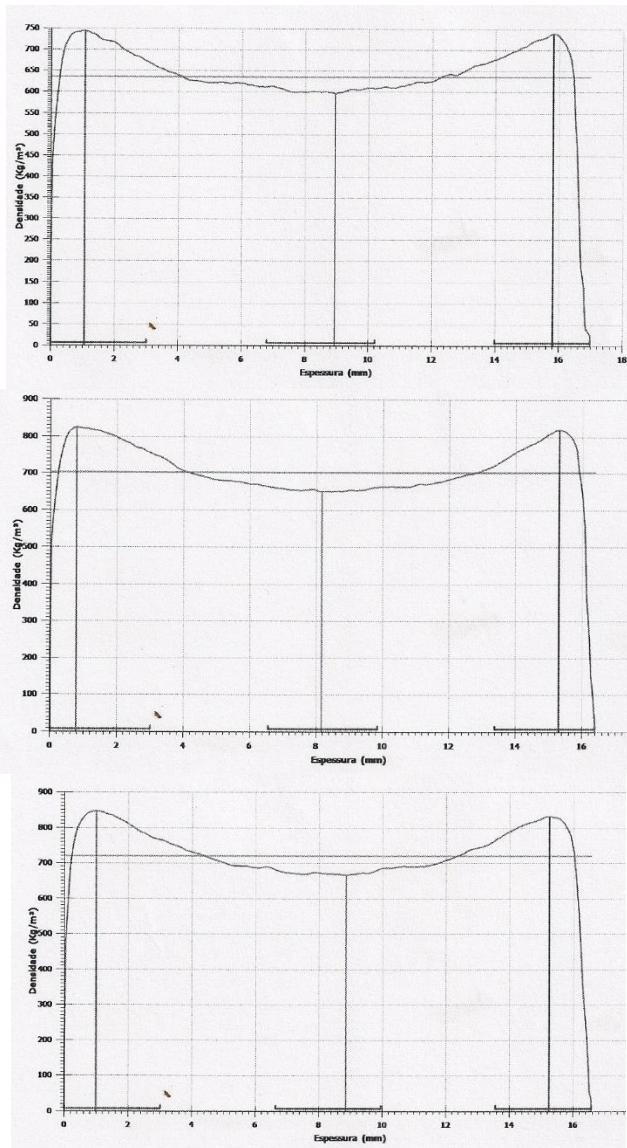
Tratamento 5.



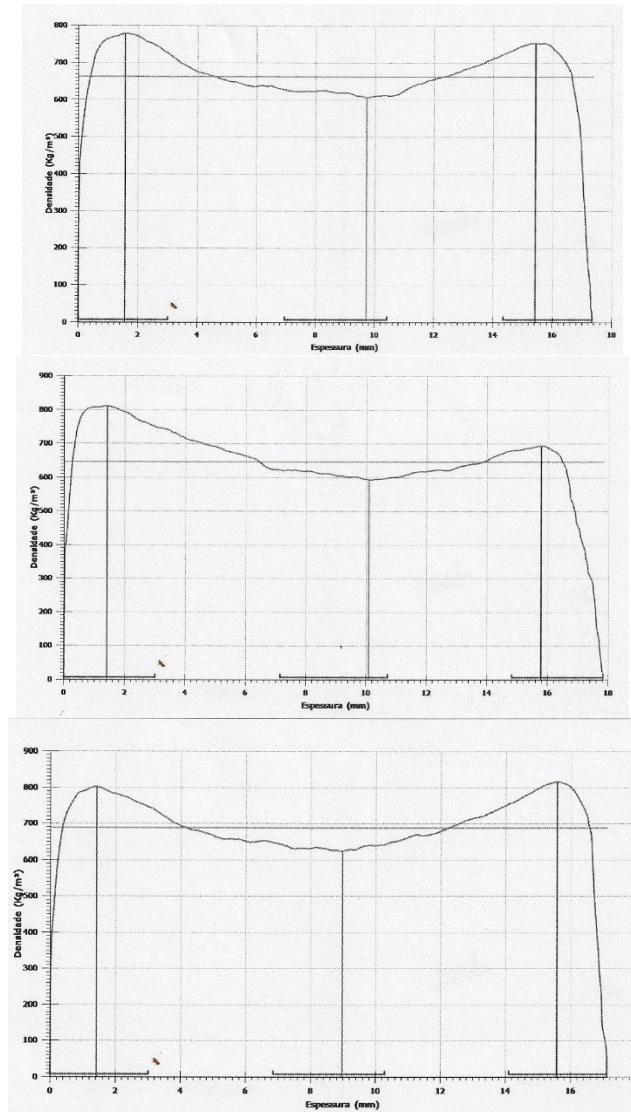
Tratamento 6.



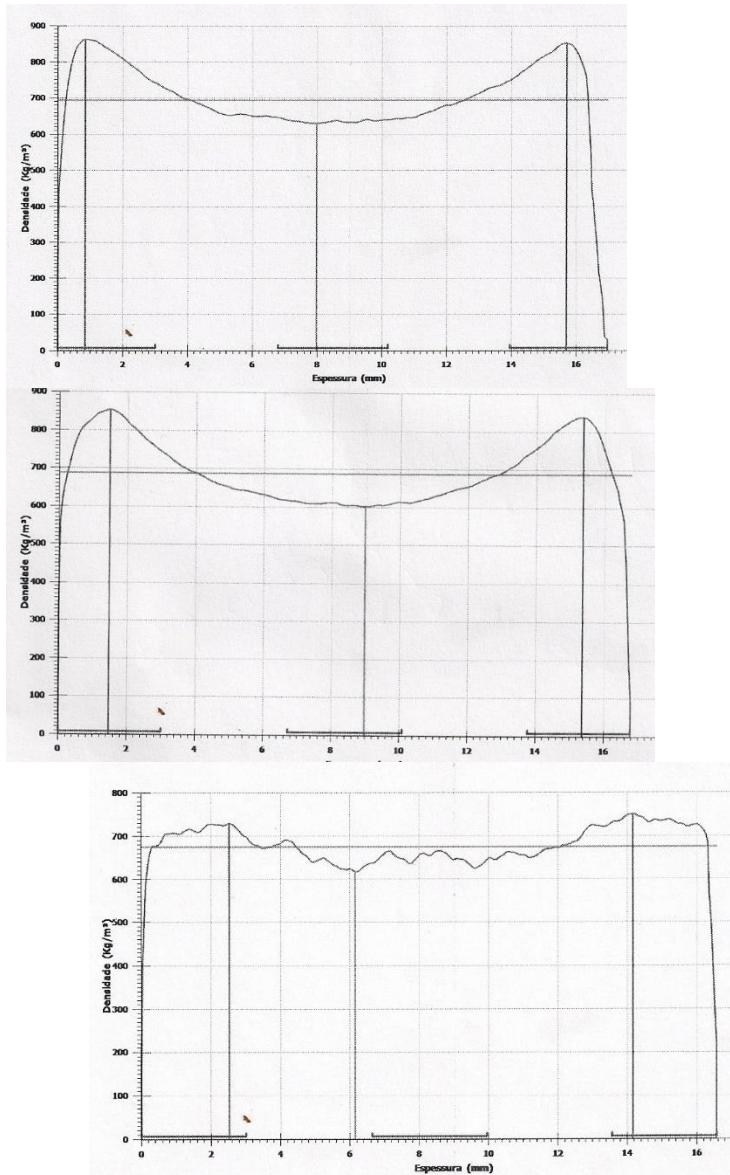
Tratamento 7.



Tratamento 8.



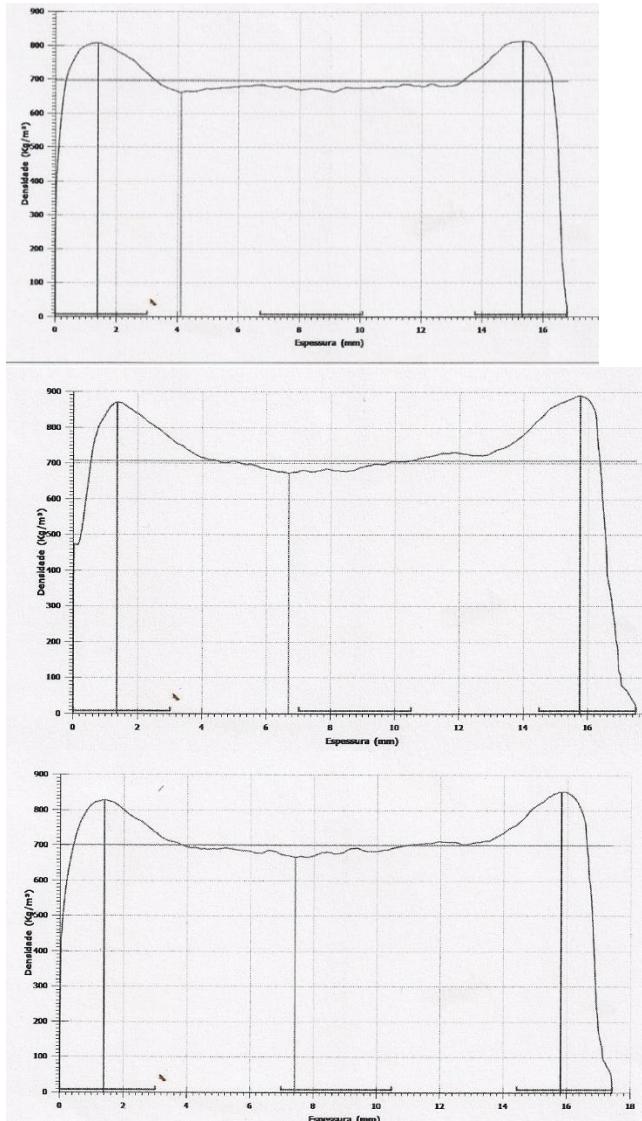
Tratamento 9.



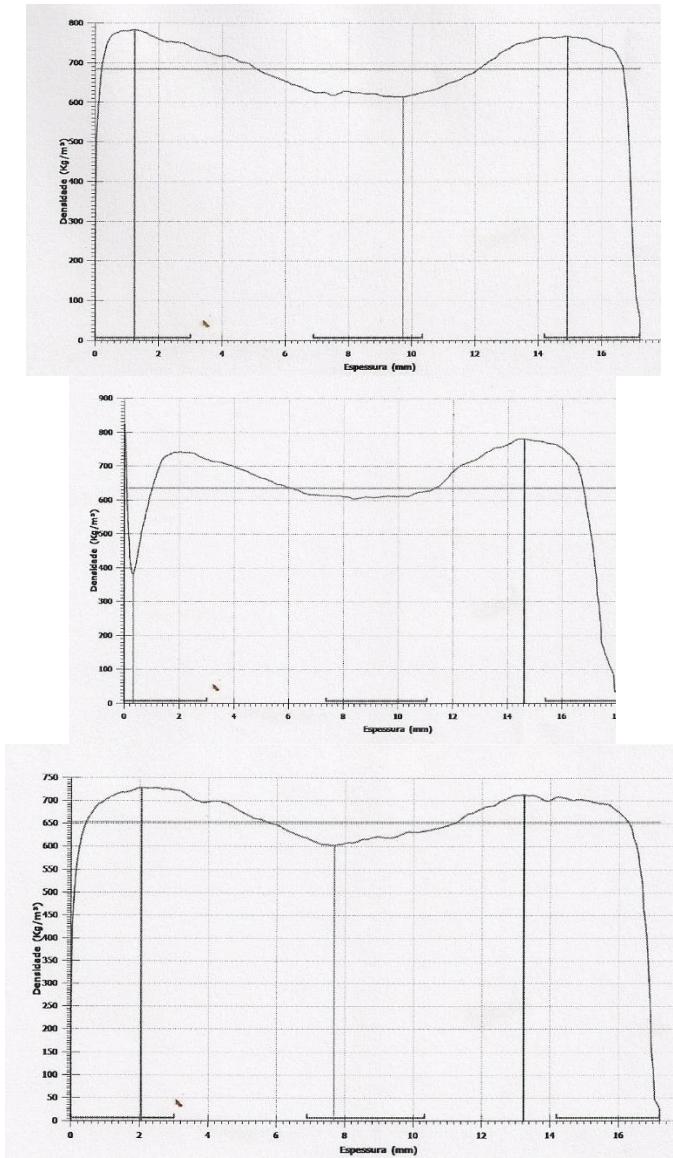
Apêndice D

Figura 36 - Gráficos de perfil de densidade dos painéis multicamadas

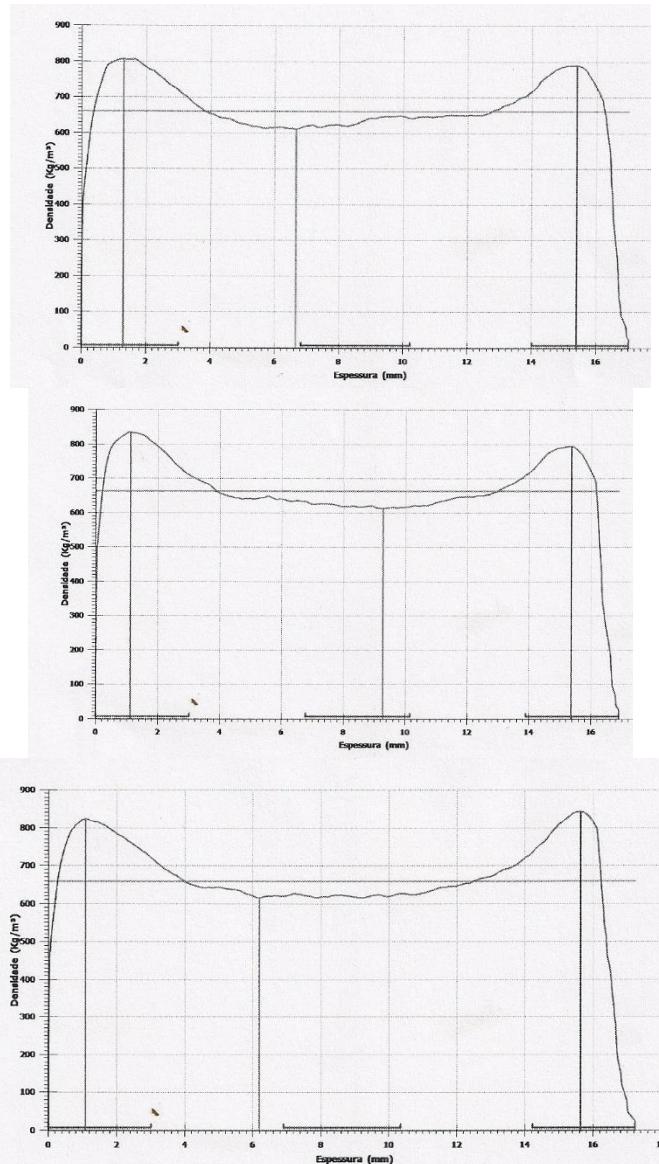
Tratamento 10.



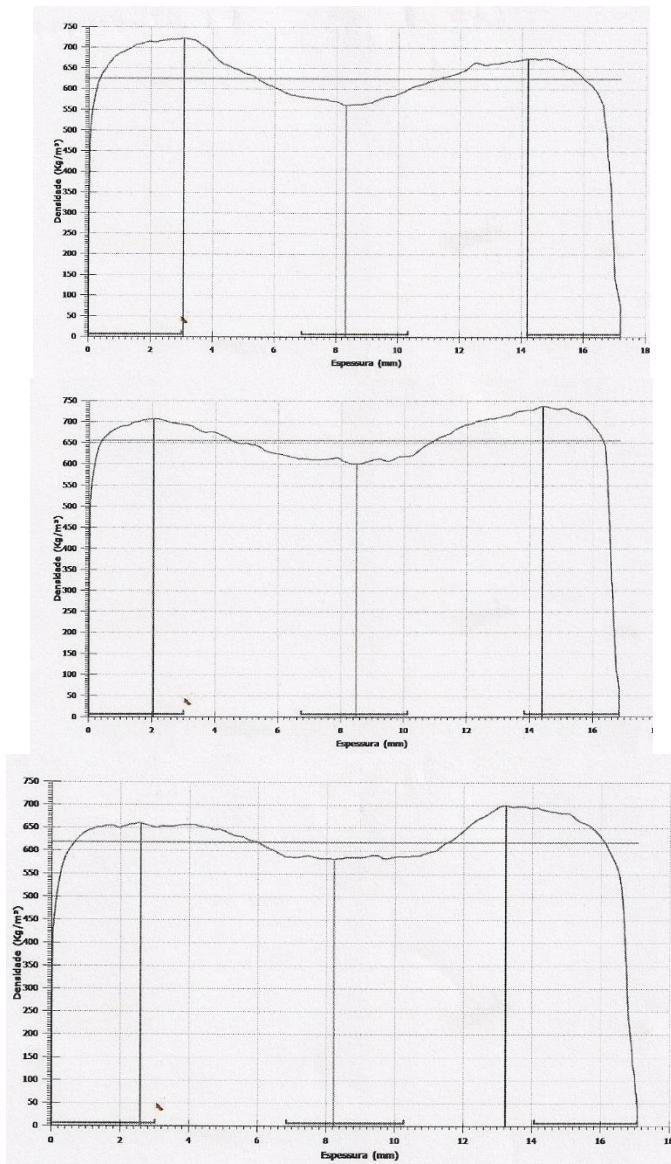
Tratamento 11.



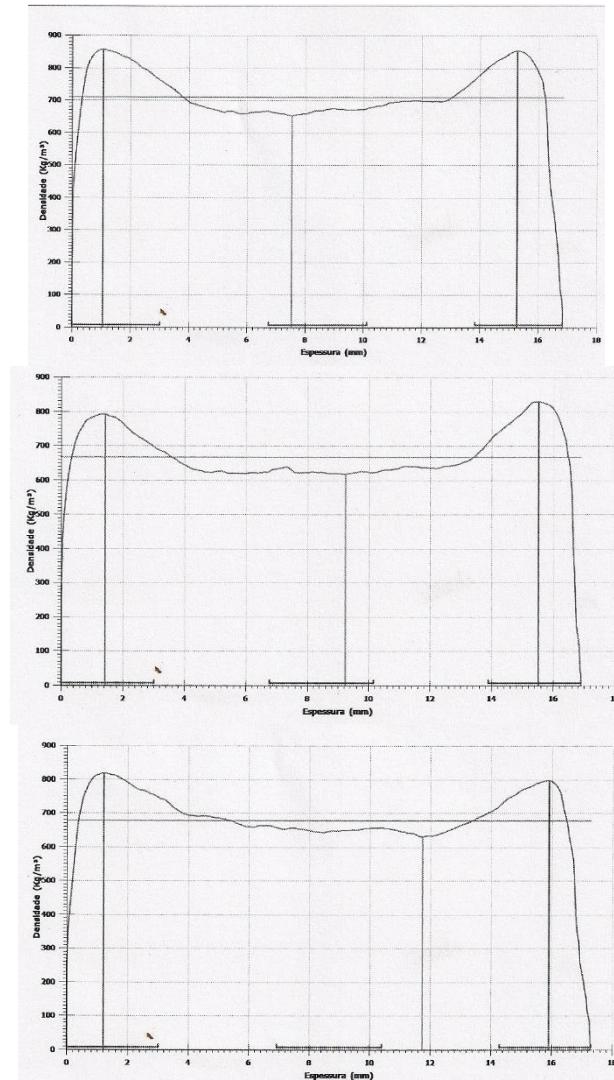
Tratamento 12.



Tratamento 13.



Tratamento 14.



Tratamento 15.

