

BRUNA LAÍS LONGO

**POTENCIAL DO RESÍDUO DE ESPÉCIES TROPICAIS PARA A
PRODUÇÃO DE PAINÉIS PARTICULADOS**

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

Orientador:

Prof. Dr. Aleksandro Bayestorff da Cunha

Coorientadores:

Prof. Dra. Polliana D'Angelo Rios

Prof. Dr. Rodrigo Figueiredo Terezo

**LAGES, SC
2014**

L856p Longo, Bruna Laís
Potencial do resíduo de espécies tropicais
para a produção de painéis particulados / Bruna
Laís Longo. - Lages, 2014.
150 p.: il.; 21 cm

Orientador: Alessandro Bayestorff da Cunha
Coorientadora: Polliana D'Angelo Rios
Coorientador: Rodrigo Figueiredo Terezo
Bibliografia: p.132-150
Dissertação (mestrado) - Universidade do Estado
de Santa Catarina, Centro de Ciências
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Florestal, Lages, 2014.

1. Espécies alternativas. 2. Propriedades
tecnológicas. 3. Caracterização anatômica. I.
Longo, Bruna Laís. II. Cunha, Alessandro
Bayestorff da. III. Universidade do Estado de
Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Florestal. IV. Título
CDD: 624.184 - 20.ed.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Setorial do
CAV/UDESC


BRUNA LAÍS LONGO

**POTENCIAL DO RESÍDUO DE ESPÉCIES TROPICAIS PARA A
PRODUÇÃO DE PAINÉIS PARTICULADOS**

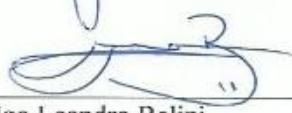
Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal do Centro de Ciências Agroveterinárias, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Florestal.

Banca examinadora:


Orientador: _____


Prof. Dr. Alexandre Baystorff da Cunha
Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC

Membro: _____


Prof. Dr. Ugo Leandro Belini
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Membro: _____


Prof.ª Dra. Martha Andreia Brand
Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC

Lages, 19 / 09 / 2014.

Aos meus pais,
dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida e pelas oportunidades de aprendizado e evolução.

À minha família, meus pais Quirino e Iolanda e irmã Camile, pelo amor e confiança incondicionais.

Ao meu namorado João Paulo Pereira, bem como seus pais Paulo Roberto e Vera Lúcia, irmã Ana Paula e cunhado Júnior, por constituírem minha segunda família de coração.

Ao orientador Dr. Alessandro Bayestorff da Cunha, pelos ensinamentos e confiança.

Aos co-orientadores Dra. Polliana D'Angelo Rios e Dr. Rodrigo Figueiredo Terezo, pela amizade e contribuição valiosas.

Ao professor Dr. Marcos Benedito Schimalski, pela amizade e experiência a mim oferecidos.

Aos demais professores e colaboradores do PPGEF – UDESC, pelo apoio direto e indireto a esta pesquisa.

Às professoras Dra. Rosilani Trianoski e Dra. Silvana Nisgoski pela disponibilidade de uso dos laboratórios de painéis de madeira e de anatomia e qualidade da madeira da UFPR, além da experiência a mim oferecida com tanta paciência e solicitude.

A Ramiro F. França, Felipe Z. Schardosin, Thaís Gonçalves e demais acadêmicos de graduação e pós-graduação do Laboratório de Anatomia e Qualidade da Madeira (UFPR), pelos auxílios, conselhos e companheirismo durante minhas análises.

A André L. S. Brighenti, Caio C. F. Almeida, Franciele O. de Córdova, Helena C. Vieira, Morgana C. França e William Grubert, pelo inestimável auxílio na execução de diversas etapas do estudo na UDESC.

Aos colegas de mestrado, das mais diversas áreas, pelo apoio e troca de experiências.

Às empresas Bonet Madeiras e Papéis Ltda., Comércio de Madeiras Schmidt Ltda., Esquadrias Guanabara Ltda., Indústria de Compensados Sudati Ltda., Isogama Indústria Química Ltda., Madebuss Fábrica de Esquadrias de Madeira Ltda., Madetim Móveis e Esquadrias Ltda., pela imediata disponibilidade do material utilizado nesta pesquisa. Adicionalmente, ao SENAI – Unidade Lages, especialmente ao Sr. Darci, pela disponibilidade e solicitude em auxiliar sempre.

À Secretaria Estadual da Educação (SED/SC), pela concessão da bolsa durante este trabalho.

O todo sem a parte não é todo,
A parte sem o todo não é parte,
Mas se a parte o faz todo, sendo parte,
Não se diga, que é parte, sendo todo.

Gregório de Matos

RESUMO

LONGO, Bruna Laís. **Potencial do resíduo de espécies tropicais para a produção de painéis particulados**. 2014. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal – Área: Produção Florestal e Tecnologia da Madeira) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Lages, 2014.

Este estudo teve como objetivo avaliar o potencial da utilização de resíduos do processo de beneficiamento de cinco espécies tropicais comerciais (angelim, cambará, canelão, cedro e itaúba) como matéria-prima para a produção de painéis de partículas de média densidade. Para isso foram produzidos painéis homogêneos de cada espécie e com a mistura de todas as espécies em iguais proporções (*mix*). As cinco espécies e o *mix* também foram utilizados como camada externa em painéis cuja camada interna foi produzida com *Pinus spp.*, na proporção 20:60:20. Foi produzido ainda um 13º tratamento como testemunha, composto apenas por *Pinus spp.* Os painéis foram produzidos utilizando resina ureia formaldeído (12% psp), emulsão de parafina (1% psp) e ciclo de prensa aplicando-se pressão de 40kgf/cm² e temperatura de 160°C por 8 minutos, para uma massa específica dos painéis de 0,65g/cm³. As espécies tropicais foram identificadas como *Hymenolobium sp./Andira sp.* (angelim), *Qualea sp.* (cambará), *Ocotea sp./Nectandra sp.* (canelão), *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke (cedro) e *Mezilaurus itauba* (Meisn.) Taub. ex Mez. (itaúba). Os resultados indicaram que as espécies cedro, angelim, cambará apresentaram desempenhos promissores para painéis homogêneos ou multicamadas, indicando o potencial do resíduo destas espécies como matéria-prima na produção de painéis. Porém, recomenda-se mais estudos com todas as espécies, pois acredita-se que melhorando a uniformidade na deposição das partículas no colchão, diminuindo o tamanho das partículas, bem como aumentando a massa específica nominal dos painéis, seja possível obter resultados consoantes às normas para todas as espécies.

Palavras-chave: espécies alternativas, propriedades tecnológicas, caracterização anatômica.

ABSTRACT

LONGO, Bruna Laís. **Potential of tropical species waste for the particleboard production.** 2014. 150 f. Dissertation (MSc in Forestry – Area: Forest Production and Wood Technology) – Santa Catarina State University. Graduate Program in Forestry, Lages, 2014.

This study aimed to evaluate the potential of using waste from processing of five commercial tropical species (angelim, cambará, canelão, cedro and itaúba) as raw material for the production of medium density particleboard panels. Homogeneous panels were produced for each species, and for a mixture of all species in equal proportions (mix). The five species and the mix were used as outer layer for panels whose inner layer was produced with *Pinus spp.*, in the proportion of 20:60:20. A 13th treatment was also produced to be used as evidence, composed only by *Pinus spp.* The panels were made using urea formaldehyde resin (12%), paraffin emulsion (1%) and a press cycle applying 40kgf/cm² of pressure and temperature of 160°C for 8 minutes for a density of 0.65 g/cm³. Tropical species have been identified as *Hymenolobium sp./Andira sp.* (angelim), *Qualea sp.* (cambará), *Ocotea sp./Nectandra sp.* (canelão), *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke (cedro) e *Mezilaurus itauba* (Meisn.) Taub. ex Mez. (itaúba). The results showed that the species cedro, angelim and cambará showed promising performances for homogeneous or multilayer panels, indicating the potential of these species residue as raw material in the panels production. However, further studies with all species is recommended because it is believed that improving the uniformity of particles deposition in the bed, reducing the particle size as well as increasing the nominal density of the panels, it is possible to obtain results consonant with the standards for all species.

Keywords: alternative species, technological properties, anatomical characterization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Resíduos provenientes do processamento de uma tora.....	37
Figura 2 -	Relação entre resíduos e seus destinos.....	37
Figura 3 -	Fluxograma do sistema produtivo típico de uma serraria tradicional.....	38
Figura 4 -	Processo produtivo de MDP.....	43
Figura 5 -	Histórico da produção e consumo de painéis de madeira industrializada no Brasil, 2002 – 2012.....	45
Figura 6 -	Consumo de MDP per capita no mundo em 2012, em m ³ /1000 hab.....	47
Figura 7 -	Localização dos municípios de coleta de material...	59
Figura 8 -	Partículas de espécie tropical utilizadas na produção dos painéis.....	64
Figura 9 -	Espessura variável do colchão.....	66
Figura 10 -	Layout de corte dos painéis para obtenção dos corpos de prova.....	67
Figura 11 -	Micrografias dos três planos de observação da madeira de angelim.....	73
Figura 12 -	Micrografias dos três planos de observação da madeira de cambará.....	75
Figura 13 -	Micrografias dos três planos de observação da madeira de canelão.....	77
Figura 14 -	Micrografias dos três planos de observação da madeira de cedro.....	80
Figura 15 -	Micrografias dos três planos de observação da madeira de itaúba.....	82
Figura 16 -	Valores médios de massa específica por espécie e composição.....	89
Figura 17 -	Valores médios de razão de compactação por espécie e composição.....	92
Figura 18 -	Valores médios de teor de umidade por espécie e composição.....	94
Figura 19 -	Valores de absorção de água por espécie e composição.....	99

Figura 20 -	Valores de inchamento em espessura por espécie e composição.....	104
Figura 21 -	Valores médios de taxa de não retorno em espessura por espécie e composição.....	109
Figura 22 -	Valores médios para módulo de elasticidade por espécie e composição.....	114
Figura 23 -	Valores médios de módulo de ruptura por espécie e composição.....	118
Figura 24 -	Valores médios de tensão máxima de tração perpendicular por espécie e composição.....	122
Figura 25 -	Valores de arrancamento de parafuso por espécie e composição.....	127

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Delineamento experimental.....	62
Tabela 2 -	Referencial normativo para os ensaios físicos e mecânicos dos painéis.....	68
Tabela 3 -	Ficha biométrica relativa aos principais elementos anatômicos da madeira de angelim.....	72
Tabela 4 -	Ficha biométrica relativa aos principais elementos anatômicos da madeira de cambará.....	74
Tabela 5 -	Ficha biométrica relativa aos principais elementos anatômicos da madeira de canelão.....	76
Tabela 6 -	Ficha biométrica relativa aos principais elementos anatômicos da madeira de cedro.....	79
Tabela 7 -	Ficha biométrica relativa aos principais elementos anatômicos da madeira de itaúba.....	81
Tabela 8 -	Valores da literatura para massa específica básica da madeira de <i>Pinus elliottii</i> e <i>Pinus taeda</i>	83
Tabela 9 -	Valores médios de massa específica básica da madeira.....	84
Tabela 10 -	Valores de probabilidade dos fatores para os ensaios físicos nos painéis.....	86
Tabela 11 -	Valores médios de massa específica dos painéis.....	87
Tabela 12 -	Valores médios de razão de compactação.....	90
Tabela 13 -	Valores médios de teor de umidade.....	93
Tabela 14 -	Valores médios de absorção de água.....	97
Tabela 15 -	Valores da literatura para absorção de água.....	100
Tabela 16 -	Valores médios de inchamento em espessura...	102
Tabela 17 -	Valores da literatura para inchamento em espessura.....	106
Tabela 18 -	Valores médios para a taxa de não retorno em espessura.....	108

Tabela 19 -	Valores da literatura para taxa de não retorno em espessura.....	110
Tabela 20 -	Valores de probabilidade dos fatores para os ensaios mecânicos nos painéis.....	111
Tabela 21 -	Valores médios para o módulo de elasticidade.....	113
Tabela 22 -	Valores da literatura para módulo de elasticidade.....	115
Tabela 23 -	Valores médios para o módulo de ruptura.....	117
Tabela 24 -	Valores da literatura para módulo de ruptura....	119
Tabela 25 -	Valores médios de resistência à tração.....	121
Tabela 26 -	Valores da literatura para o ensaio de tração.....	123
Tabela 27 -	Valores médios para arrancamento de parafuso.....	126
Tabela 28 -	Valores da literatura para arrancamento de parafuso.....	128

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIMCI – Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente.

ABIPA – Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABRAF – Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas.

ANOVA – Análise de Variância.

ANSI – *American National Standards Institute*

ASTM – *American Society for Testing and Materials*

C*E – Interação entre os fatores composição e espécie.

CIRAM – Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina.

cm – centímetro, unidade de medida de comprimento.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente.

CS – *Commercial Standard*.

CSA – *Canadian Standard Association*.

CV – coeficiente de variação.

DIN – *Deutsches Institut für Normung*

EN – *European Standard*.

EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina.

kg/m³ - quilograma por metro cúbico, unidade de medida de massa específica.

hab. - habitantes

HDF – *High Density Fiberboard* – painel de fibras de alta densidade.

kgf/cm² - quilograma força por centímetro quadrado, unidade de medida de pressão.

MDF – *Medium Density Fiberboard* / painel de fibras de média densidade.

MDP – *Medium Density Particleboard* / painel de partículas de média densidade.

ME_{AP} – massa específica aparente.

min – minuto, unidade de medida de tempo.

mm – milímetro, unidade de medida de comprimento.

MPa – Megapascal, unidade de medida de pressão.

MOE – módulo de elasticidade.

MOR – módulo de ruptura.

N – Newton, unidade de medida de pressão.

OSB – *Oriented Strand Board* / Paineis de partículas orientadas.
PA – Estado do Pará.
PEBD – polietileno de baixa densidade.
pH – potencial hidrogeniônico.
PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos.
PR – Estado do Paraná.
 ρ – letra grega rho, indica coeficiente de correlação de Pearson.
psp – base peso seco das partículas.
RC – razão de compactação.
RT – resistência à tração perpendicular.
S – arrancamento de parafuso de superfície.
SP – Estado de São Paulo.
SC – Estado de Santa Catarina.
SDF – *Super Density Fiberboard* / paineis de fibras de altíssima densidade.
T – arrancamento de parafuso de topo.
TNRE – Referência ao ensaio de taxa de não retorno em espessura.
UDESC – Universidade do Estado de Santa Catarina.
UFPR – Universidade Federal do Paraná
UR – umidade relativa.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	33
1.1 OBJETIVOS	35
1.1.1 Objetivo geral	35
1.1.2 Objetivos específicos.....	35
2 REVISÃO DE LITERATURA	36
2.1 UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE MADEIRA NO BRASIL	36
2.2 PAINÉIS DE MADEIRA	39
2.2.1 Painéis MDP.....	41
2.2.2 Aspectos econômicos do setor de painéis de madeira.....	44
2.3 VARIÁVEIS QUE INFLUENCIAM NAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DOS PAINÉIS	48
2.3.1 Variáveis inerentes à madeira	48
2.3.1.1 Espécie	48
2.3.1.2 Massa específica da madeira	49
2.3.1.3 Extrativos	50
2.3.1.4 Potencial de hidrogênio – pH	51
2.3.2 Variáveis inerentes ao processo.....	52
2.3.2.1 Geometria das partículas	52
2.3.2.2 Massa específica dos painéis	53
2.3.2.3 Razão de compactação	54
2.3.2.4 Composição dos painéis	55
2.3.2.5 Umidade das partículas	55
2.3.2.6 Parâmetros de prensagem.....	56
3 MATERIAL E MÉTODOS	58
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA.....	58

3.1.1 Caracterização anatômica da madeira	59
3.1.1.1 Análise anatômica das fibras	60
3.1.1.2 Análise anatômica da madeira	60
3.1.2 Massa específica básica da madeira.....	61
3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	61
3.3 PREPARO DO MATERIAL	64
3.4 PRODUÇÃO DOS PAINÉIS.....	65
3.5 ENSAIOS FÍSICOS E MECÂNICOS DOS PAINÉIS	67
3.5.1 Razão de Compactação	68
3.5.2 Taxa de não retorno em espessura	68
3.6 MODELO EXPERIMENTAL E ANÁLISE DOS DADOS	69
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	71
4.1 CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA DA MADEIRA DAS ESPÉCIES TROPICAIS	71
4.1.1 Angelim.....	71
4.1.2 Cambará.....	73
4.1.3 Canelão	75
4.1.4 Cedro	78
4.1.5 Itaúba.....	80
4.2 MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA.....	82
4.3 PROPRIEDADES FÍSICAS DOS PAINÉIS	85
4.3.1 Massa específica dos painéis	86
4.3.2 Razão de compactação	90
4.3.3 Teor de umidade	92
4.3.4 Absorção de água.....	96
4.3.5 Inchamento em espessura	101
4.3.6 Taxa de não retorno em espessura	107

4.4	PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS PAINÉIS.....	111
4.4.1	Flexão estática.....	112
4.4.1.1	Módulo de Elasticidade.....	112
4.4.1.2	Módulo de ruptura	116
4.4.2	Tração perpendicular.....	120
4.4.3	Arrancamento de parafuso.....	125
5	CONCLUSÕES.....	130
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	132

1 INTRODUÇÃO

O Brasil está entre os mais avançados do mundo na fabricação de painéis de madeira reconstituída, sendo também o país com o maior número de fábricas de última geração. Com investimentos contínuos em tecnologia e automação, as empresas construíram versáteis e modernos parques industriais destinados à instalação de novas unidades, à atualização tecnológica das plantas já existentes, à implantação de linhas contínuas de produção e aos novos processos de impressão, de impregnação, de revestimento e de pintura (ABIPA, 2014).

Os principais motivos para a constante consolidação do setor, segundo Biazus *et al.* (2010), advêm de boas perspectivas para o setor, bem como da busca por competitividade, dentre os quais os autores destacam a procura intensiva por alternativa à madeira maciça devido à escassez desse produto e do aumento da sua fiscalização; a modernização das fábricas no país e aumento de escala de produção; e ainda a melhoria da conjuntura econômica, em que aspectos como juros mais baixos, acesso ao crédito e conseqüente aumento da demanda interna têm reflexo nas vendas da indústria moveleira e no desempenho da construção civil, que são os principais segmentos de aplicação dos painéis de madeira reconstituídos.

Os painéis MDP (*Medium Density Particleboard*) caracterizam-se pela transformação da madeira em pequenas partículas que, quando secas, são misturadas com adesivos sintéticos termofixos e são distribuídas aleatoriamente entre si, sendo prensadas sob calor e pressão (MOSLEMI, 1974; TSOUMIS, 1991). De acordo com esse conceito, Guimarães Júnior *et al.* (2011) afirmam que todo e qualquer material lignocelulósico tem potencial de ser utilizado como matéria-prima para a fabricação de painéis de partículas.

Segundo Iwakiri *et al.* (2012b), as espécies de madeira, por apresentarem grande variabilidade na sua estrutura anatômica e nas propriedades físicas e químicas, podem exercer influências positivas e negativas na fabricação de produtos colados de madeira. Para Brito *et al.* (2004), além da matéria-prima utilizada em várias formas e geometrias, os processos, bem como os aditivos, também conferem uma variação bastante ampla às propriedades do produto acabado.

No mundo, como matérias-primas para a produção dos painéis de partículas, são empregados resíduos industriais de madeira, resíduos da exploração florestal, madeiras de qualidade inferior não-industrializáveis de outra forma, madeiras provenientes de florestas

plantadas e reciclagem de madeira sem uso direto. A prática de utilização de resíduos industriais madeireiros na indústria de painéis reconstituídos é bastante comum no exterior, sobretudo nos países da Europa (PIERRE, 2010).

No Brasil, acrescenta Pierre (2010), a madeira de florestas plantadas, em especial de eucalipto e de pinus, constitui a principal fonte de matéria-prima. Embora o propósito inicial das primeiras indústrias de painéis de partículas no mundo tenha sido o aproveitamento dos resíduos florestais, no Brasil essa prática ainda não foi implementada em nível industrial, restringindo-se a poucos trabalhos acadêmicos, realizados em escala laboratorial.

O setor madeireiro apresenta grande potencial para aproveitamento de resíduos industriais, já que é caracterizado pela alta geração de desperdícios na cadeia de produção (BONDUELLE *et al.*, 2002). Hillig *et al.* (2009) afirmam que embora muitas vezes os resíduos sejam aproveitados para alguns fins específicos, estes podem constituir um problema de gestão ambiental das empresas.

Segundo Iwakiri *et al.* (2012b), o aproveitamento de resíduos de processamento da madeira provenientes de serrarias e laminadoras na região amazônica pode ser uma alternativa interessante para as indústrias de painéis particulados. A disponibilidade deste produto poderia no futuro abrir perspectivas de instalação de polos moveleiros na região, diminuindo as dependências de importação de móveis de regiões distantes com custos mais elevados.

Embora as regiões norte e centro-oeste do país tenham disponíveis extensas áreas de florestas tropicais nativas, poucos estudos têm sido realizados sobre a viabilidade de utilização de madeiras tropicais para produção de painéis particulados (IWAKIRI *et al.*, 2012b).

Desta forma, é necessário propor alternativas de aproveitamento aos resíduos de madeira e seus derivados, que agreguem maior valor no mercado, e para isso torna-se fundamental conhecer as potencialidades dos produtos que podem ser gerados a partir desse material.

Assim, a motivação inicial desta pesquisa baseou-se na necessidade de fornecer mais informações sobre as alternativas de utilização de um resíduo, ainda pouco utilizado como matéria-prima em outro processo produtivo, nesse caso, para a indústria de painéis de madeira. Nesse contexto, esta pesquisa foi fundamentada nas hipóteses de que há viabilidade técnica na produção de painéis MDP utilizando resíduos do beneficiamento de espécies tropicais e de que a incorporação

de *Pinus spp.* influenciará nas propriedades mecânicas de forma positiva mas propriedades físicas de forma negativa.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar o potencial da utilização de resíduos do processo de beneficiamento de cinco espécies tropicais comerciais (angelim, cambará, canelão, cedro e itaúba) como matéria-prima para a produção de painéis de partículas de média densidade.

1.1.2 Objetivos específicos

Identificar a madeira das espécies tropicais utilizadas por meio de estudo anatômico, visando inclusive verificar se os materiais coletados correspondem às espécies comercializadas.

Avaliar a qualidade tecnológica dos painéis produzidos, considerando os fatores espécie (angelim, cambará, canelão, cedro, itaúba e mistura das espécies) e composição (homogêneo e multicamada).

Estabelecer relações entre os painéis produzidos e os painéis de *Pinus spp.* tradicionalmente utilizados pelo setor, bem como verificar o atendimento dos resultados às normas de qualidade.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE MADEIRA NO BRASIL

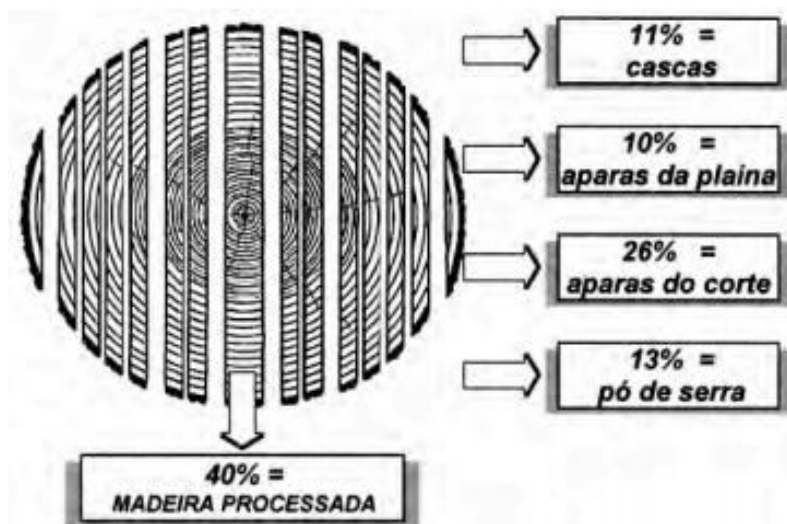
Os resíduos sólidos gerados pela cadeia produtiva madeireira são provenientes em sua maioria, das operações de usinagem da madeira ou da fabricação e usinagem de seus derivados. Dessa forma, em diversas etapas do processamento da madeira, desde o abate da árvore até a operação de lixamento de qualquer peça de um móvel, são gerados resíduos em diferentes proporções e com diferentes características (HILLIG e SCHNEIDER, 2006).

A caracterização dos resíduos sólidos da indústria moveleira e da indústria de base florestal torna-se uma tarefa difícil, pois depende do tipo de processo empregado, do tipo de matéria-prima utilizada e do produto final a ser obtido. As combinações possíveis dessas variáveis resultam numa gama de dimensões e tipos de resíduos, os quais apresentam características distintas. Por outro lado, proporcionam diversas opções de intervenção e mudanças nos processos, com o objetivo de otimizar a produtividade e diminuir a sua geração (HILLIG e SCHNEIDER, 2006).

Dados gerais de rendimento de processo podem ser visualizados na Figura 1, que salienta a quantidade de resíduo que pode ser gerado na indústria da madeira.

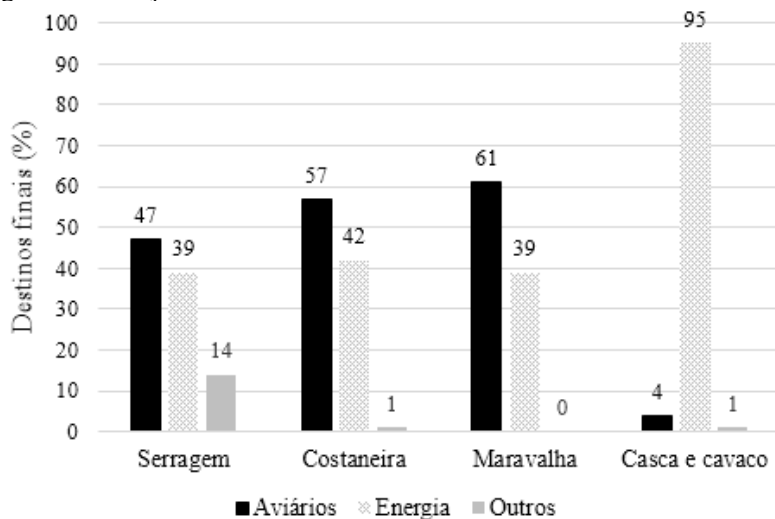
Em diagnóstico da geração e aproveitamento dos resíduos de madeira da indústria da serra gaúcha, Hillig *et al.* (2006) concluíram que parte do percentual dos resíduos gerados é utilizada como fonte energética nos fornos e caldeiras de empresas e outra parte vai para a criação de animais, servindo de “cama de forração” em aviários da região (ver Figura 2). Segundo os autores, outra atividade que ocorre com frequência, é a utilização dos resíduos em olarias, onde a utilização se faz na forma de energia, ou seja, queima nos fornos. Em outros destinos estão incluídos usos diversos como serragem para criação de gado e adubação, e costaneiras para produção de caixarias.

Figura 1 - Resíduos provenientes do processamento de uma tora.



Fonte: Fagundes (2003), adaptado de Ferreira *et al.* (1989).

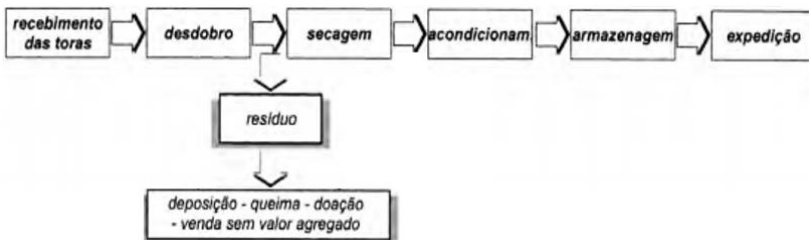
Figura 2 - Relação entre resíduos e seus destinos.



Fonte: Hillig *et al.* (2006).

Cabe ressaltar ainda que, em geral, uma parte substancial de resíduos provenientes de processamento mecânico da madeira é utilizada para geração de energia para fins industriais e domésticos (ver Figura 3). No entanto, Iwakiri *et al.* (2000) salientam que apesar dos benefícios, esta forma de utilização das toras agrega muito pouco valor ao produto final, sendo necessárias outras formas alternativas de utilização.

Figura 3 - Fluxograma do sistema produtivo típico de uma serraria tradicional.



Fonte: adaptado de Fagundes (2003).

Em estudo para examinar os fatores que influenciam o rendimento do processamento de toras na região de Paragominas (PA), Gerwing *et al.* (2000) observaram que mais da metade do volume total da tora perdido durante o processamento da serraria está na forma de serragem e peças de refugo. Os autores encontraram um rendimento médio global para as serrarias estudadas de 34%, em um universo de 30 espécies de madeira serrada observadas, sendo que 45% do resíduo é utilizado para produzir carvão.

Os resíduos de madeira, resultantes em todas as fases do processo produtivo, são considerados subprodutos e, via de regra, não poderiam ser descartados no processo industrial ao longo da cadeia produtiva. O setor industrial atual, não somente o de base florestal, preza pelo aproveitamento de resíduos, reintegrando-os ao processo produtivo. Isso aumenta os rendimentos industriais e reduz os impactos ou potenciais passivos ambientais (ABRAF, 2013).

Por outro lado, Pierre (2010) considera que por falta de uma destinação imediata, grandes quantidades desses resíduos são simplesmente empilhadas e encontram-se hoje em diversos estágios de decomposição. A autora complementa ainda que muitas vezes os resíduos são queimados a céu aberto ou sofrem combustão espontânea com emissão de particulados finos na atmosfera. Em concordância, Yuba

(2001) cita que para aquelas serrarias que não têm consumidores para os resíduos produzidos, algumas das soluções adotadas são a queima e a deposição irregular, que resultam em poluição do ar, solo e água.

Em relação às medidas tomadas pelas empresas quanto ao destino dos resíduos, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída sob a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 (BRASIL, 2010), aponta a auto responsabilidade das empresas na remoção, estocagem e tratamento de resíduos gerados pelos processos de produção, a partir de procedimentos adequados para a conservação do meio ambiente.

Em busca do cumprimento da lei e da otimização da matéria-prima por parte das serrarias, os painéis reconstituídos podem se revelar uma alternativa promissora, principalmente para o aproveitamento de serragem, maravalha e cavaco limpo (sem casca).

Nesse sentido, Iwakiri *et al.* (2000) cita que o aproveitamento de resíduos provenientes de serrarias para produção de painéis de madeira aglomerada seria uma forma de se obter um produto de maior valor agregado. Os autores ressaltam ainda que o posterior revestimento superficial dos painéis, por colagem de lâminas naturais ou sintéticas, para utilização na indústria moveleira elevaria mais ainda este valor agregado.

Diversos estudos que abordam a utilização de algum tipo de resíduo de madeira na produção de painéis particulados de média densidade podem ser encontrados na literatura, como: IWAKIRI *et al.* (2000), DACOSTA *et al.* (2005), PEDRAZZI *et al.*, (2006); ROWELL, (2007), SETUNGE *et al.* (2009), PIERRE (2010), SUFFIAN *et al.* (2010), ALMEIDA *et al.* (2012), IWAKIRI *et al.* (2012b). Porém, ainda há pouca informação acerca da utilização de resíduos de madeiras tropicais, dada a variabilidade de espécies e tipos de resíduos existentes.

2.2 PAINÉIS DE MADEIRA

A partir da redução da madeira sólida são reconstituídos os elementos da madeira, como lâminas, sarrafos, partículas e fibras, formando produtos compostos denominados painéis de madeira (IWAKIRI, 2005). Essa definição é reforçada por Mattos *et al.* (2008), que descreve os painéis como estruturas fabricadas com madeiras em lâminas ou em diferentes estágios de desagregação, que são aglutinadas pela ação de pressão e temperatura, com uso de resinas em alguns casos. Esse tipo de produto substitui a madeira maciça em diferentes usos, como na fabricação de móveis e pisos.

Os painéis de madeira surgiram da necessidade de amenizar as variações dimensionais da madeira maciça, diminuir seu peso e custo e manter as propriedades isolantes, térmicas e acústicas (FERREIRA *et al.*, 2003). Adicionalmente, suprem uma necessidade reconhecida no uso da madeira serrada, gerada, segundo Mattos *et al.* (2008), pela escassez e pelo encarecimento da madeira sólida, ampliando a sua superfície útil através da expansão de uma de suas dimensões (a largura), de modo a otimizar a sua aplicação (FERREIRA *et al.*, 2003).

Conforme Iwakiri (2005), a colagem da madeira contribui de forma direta na conservação de recursos florestais, tendo em vista a possibilidade de aproveitamento integral deste material, por meio da utilização de pequenos elementos de madeira de forma e dimensões variadas para posterior aplicação em diversos tipos de produtos, utilizando métodos e processos adequados para cada finalidade.

Segundo Ferreira *et al.* (2003), o desenvolvimento tecnológico verificado no setor dos painéis à base de madeira tem ocasionado o aparecimento de novos produtos no mercado internacional e nacional, que vêm preencher os requisitos de uma demanda cada vez mais especializada e exigente.

Segundo o estudo setorial da ABIMCI (2009), os usos e aplicações dos painéis de madeira estão diretamente associados às propriedades físicas e mecânicas dos mesmos. As restrições técnicas para o uso e a aplicação de diferentes tipos de painéis de madeira envolvem características como resistência, uso interior ou exterior, uniformidade da superfície, tolerância à usinagem, resistência à fixação de parafusos, entre outros. Diferentes tipos de painéis de madeira podem sobrepor tais restrições técnicas.

Os painéis podem se resumir em duas categorias: os de madeira sólida, também chamados de painéis de madeira processada mecanicamente, são formados por camadas de lâminas (compensados e laminados) ou sarrafos de madeira, e os reconstituídos, que são produzidos com partículas ou fibras de madeira reconstituída, tendo como principais produtos: os aglomerados/*Medium Density Particleboard* (MDP), o *Oriented Strand Board* (OSB), o *Medium Density Fiberboard* (MDF), o *Hard Density Fiberboard* (HDF), o *Super Density Fiberboard* (SDF), e chapas isolantes (BIAZUS *et al.*, 2010; IWAKIRI, 2005). Segundo Silva (2012), esta categoria engloba ainda outros materiais compósitos de menor expressão, como os painéis cimento-madeira, plástico-madeira e outros lignocelulósicos.

Os painéis de madeira reconstituída podem ser comercializados sem revestimento ou revestidos (EISFELD, 2009). Segundo Biazus *et al.* (2010), o revestimento pode ser aplicado em ambas as faces e apresentam-se em três diferentes tipos: baixa pressão (que consiste na fundição ao painel de uma folha de papel especial impregnada com resina melamínica pela ação de temperatura e pressão), *finish foil* (que consiste na colagem de uma película de papel ao painel) e lâmina de madeira (que consiste em revestir o painel com uma lâmina de madeira natural).

2.2.1 Painéis MDP

A partir da metade da década de 1990, as empresas brasileiras investiram na modernização tecnológica, passando do processo de produção de aglomerado da prensagem cíclica para a prensagem contínua, o que conferiu ao produto melhores características de resistência (melhor resistência ao arrancamento de parafusos, menor absorção de umidade e empenamento), e implementaram a modificação da nomenclatura para MDP, ou painel de partículas de média densidade, numa tentativa de dissociar o novo produto do aglomerado tradicional (MATTOS *et al.*, 2008). No presente estudo, MDP e aglomerado foram tratados como sinônimos.

Para a produção de painéis de partículas, são necessários dois materiais básicos: as partículas de madeira e os adesivos. O primeiro pode ser utilizado de variadas maneiras, quase não apresentando dificuldades, entretanto os adesivos são os produtos que apresentam alguns empecilhos, como, por exemplo o alto custo, uma vez que chegam a representar de 35% a 60% do valor final (IWAKIRI, 2005), além de apresentarem alto teor de toxicidade (DIAS, 2005).

Em relação às demais características, os painéis de partículas de média densidade apresentam uma massa específica entre 0,59 a 0,80 g/cm³ e são classificados quanto à geometria das partículas e sua distribuição no painel, além do tipo de adesivo utilizado, uma vez que os processos de produção podem ser modificados para fabricar produtos adequados a usos finais específicos (IWAKIRI, 2005).

Pierre *et al.* (2014) afirmam que no Brasil a madeira de florestas plantadas, em especial de eucalipto e de pinus, constitui a principal fonte de matéria-prima para produção de painéis MDP. Embora o propósito inicial das primeiras indústrias de painéis aglomerados no mundo tenha sido o aproveitamento dos resíduos florestais, no Brasil essa prática ainda

é incipiente em nível industrial, restringindo-se a trabalhos acadêmicos, realizados em escala laboratorial.

A despeito da prática nacional de utilização de madeira de florestas plantadas na produção deste tipo de painel, atualmente, devido, sobretudo, à grande disponibilidade de resíduos gerados por outros segmentos do setor florestal, as indústrias têm-se mostrado mais receptivas à incorporação desses resíduos (de serrarias, por exemplo) nos processos produtivos (PIERRE *et al.*, 2014).

No Brasil, pelo menos 73% do consumo dos painéis de madeira reconstituída advém da indústria de móveis (comercialização direta), mas há uma parcela não desprezível comercializada por revendedores (18%), que atendem tanto a pequenos fabricantes de móveis quanto à indústria da construção civil. No geral, a indústria moveleira configura-se, direta ou indiretamente e com ampla vantagem, como a principal consumidora de painéis de madeira do país (BIAZUS *et al.*, 2010).

Entre as principais razões que tornam o MDP atrativo no mercado, principalmente para o de móveis, quando comparado com a madeira maciça, podem-se citar a inexistência de defeitos de anisotropia, resistência proporcional do painel no sentido da largura e do comprimento, eliminação de defeitos naturais da madeira, menor exigência quanto à qualidade da madeira (diâmetro de toras, forma do fuste, etc.), e menor custo de produção e mão de obra (DIAS, 2005; TOMASELLI, 2000).

Segundo Iwakiri (2005), o processo de produção de painéis de madeira aglomerada envolve as seguintes etapas: geração de partículas, secagem, classificação, aplicação de adesivo e de aditivos químicos, formação do colchão, pré-prensagem, prensagem a quente, resfriamento, acondicionamento, acabamento, classificação, embalagem e armazenamento (figura 4).

Ainda segundo Iwakiri (2005), os materiais utilizados para a obtenção de partículas para produção de painéis aglomerados podem ser de fontes variadas. Em função do grande volume de madeira requerido, as toras provenientes de florestas plantadas consistem na principal base de fornecimento de matéria-prima.

Conforme Maloney (1993) e Santos Andirá (2009), a primeira etapa do processo consiste na geração de partículas, interna ou externamente à indústria, que são obtidas por meio de um conjunto de equipamentos simples chamados *ring flakers* ou cepilhadores, moinhos ou picadores, nos quais são reduzidos a *flakes* ou partículas de diversos tamanhos. Depois de obtidas as partículas, a próxima etapa é a secagem

dos cavacos geralmente é feita com ar quente, sendo que a umidade do cavaco é controlada para permanecer com índices entre 2 e 3% na saída do secador.

Figura 4 - Processo produtivo de MDP.



Fonte: Santos Andirá (2009).

Ainda segundo Santos Andirá (2009), depois de concluída a etapa de secagem, todas as partículas são classificadas segundo o seu tamanho em quatro diferentes tipos: *oversize*, camada de miolo, camada de superfície e pó. As partículas *oversize* são direcionadas a moinhos para redução de sua granulometria, retornando depois ao processo e o pó geralmente é aproveitado em uma planta para geração de energia.

Segundo Santos (2010), cada um dos dois tipos de partículas selecionados passa numa linha de encolagem própria, e conforme Chipanski (2006) o material é transportado até os aplicadores, onde se misturam resina, emulsão de parafina, catalisador e água se necessário, que é pulverizada e misturada com a madeira.

Depois da aplicação, o material segue para a estação formadora, onde é disposto formando o colchão. Dependendo do processo o colchão

é compactado na pré-prensa a frio para a retirada do excesso de ar do colchão e início de sua conformação (SANTOS ANDIRÁ, 2009). Segue posteriormente à prensa, sendo que os sistemas de prensagem podem ser de simples abertura, múltipla abertura e contínuo (CHIPANSKI, 2006).

Conforme Mattos *et al* (2008), atualmente as indústrias optam por utilizar prensas contínuas em seus processos, pois como aponta Maloney (1993), esta tecnologia permite aumento de velocidade da linha, evitando tempos improdutivos de carregamento, descarregamento, fechamento e abertura das prensas convencionais. Neste tipo de prensa, segundo Santos (2010), o movimento do colchão é contínuo e, após a pré-prensagem, realiza-se a prensagem a quente com ajuda de cintas metálicas (pratos).

Na prensagem a quente, informa Santos Andirá (2009), o colchão é submetido à ação simultânea de temperatura e pressão, fazendo com que a resina desenvolva uma reação química de polimerização, promovendo a adesão das partículas e formando a chapa de MDP.

Após a prensagem, as chapas cortadas são colocadas em acumuladores giratórios para que sua temperatura se aproxime da temperatura ambiente, denominado por Santos (2010) como uma zona de arrefecimento lento e de estabilização. Para que se completem reações residuais da resina ureia-formaldeído e os painéis se estabilizem, os mesmos são mantidos numa estocagem intermediária (maturação) por um período de 24 a 72 horas. Após completada a maturação dos painéis, realiza-se o lixamento em uma linha de acabamento, proporcionando uma superfície perfeita para a aplicação de variados tipos de revestimento (SANTOS ANDIRÁ, 2009).

2.2.2 Aspectos econômicos do setor de painéis de madeira

A indústria de painéis de madeira caracteriza-se por ter baixas barreiras à entrada, dado que os valores de investimento são relativamente baixos para os padrões de uma indústria intensiva em capital. Da mesma forma, não existem patentes que limitem a utilização de tecnologias de fabricação por um novo entrante, uma vez que o componente tecnológico se encontra nas máquinas e equipamentos necessários ao processo produtivo (BIAZUS *et al.*, 2010).

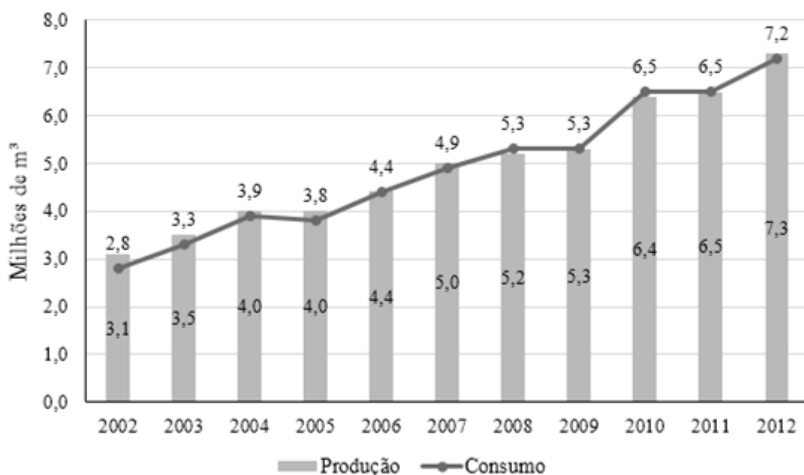
Quanto à competitividade do setor de painéis de madeira brasileiro, a modernização e a ampliação da capacidade permitiram às

empresas aumentar sua flexibilidade operacional, com a fabricação de painéis em diferentes dimensões e espessuras (MENDES, 2012).

Biazus *et al.* (2010) destacam que a preocupação das empresas no sentido de que melhorias operacionais reduzem custos e aumentem a competitividade dos produtos, gera melhoria contínua no processo produtivo (ganhos de qualidade) e nos resultados operacionais das empresas (ganhos financeiros), na tentativa de manter margens satisfatórias mesmo em períodos de retração da demanda.

Dados do anuário da Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (ABRAF, 2013) indicam que o mercado de painéis de madeira industrializada encontra-se em expansão no Brasil. Em 10 anos (2002-2012), a produção cresceu de 3,1 milhões de toneladas para 7,3 milhões (ver Figura 5), um crescimento médio de 8,9% a.a. Da mesma forma, o consumo anual também cresceu de 2,8 milhões de toneladas, para 7,2 milhões, com incremento médio de 9,9% a.a. Somente em 2012, a produção de painéis de madeira industrializada cresceu 12,3% e o consumo, 10,8%.

Figura 5 - Histórico da produção e consumo de painéis de madeira industrializada no Brasil, 2002 – 2012.



Fonte: ABRAF (2013).

Dentre os produtos florestais do Brasil, a produção e o consumo da indústria de painéis de madeira industrializada apresentaram o maior crescimento médio anual (ABRAF, 2013). Segundo a Associação

Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira (ABIPA, 2014), esse aumento foi devido ao incremento do consumo doméstico e aos investimentos significativos realizados pelas indústrias do setor, as quais dobraram a capacidade nominal instalada na última década.

Segundo a ABRAF (2013), o crescimento do mercado de painéis está fortemente ligado ao cenário econômico interno, onde o aumento de renda e o crescimento da construção civil são fatores que impulsionam o mercado imobiliário e o consumo de bens duráveis, implicando, conseqüentemente no aumento da demanda das indústrias por painéis de madeira industrializada para a fabricação de produtos de consumo.

As sete empresas associadas da ABIPA, consideradas de grande porte, geram em torno de 30 mil postos de trabalho (diretos e indiretos) nos estados de Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Rio Grande do Sul e Santa Catarina e Pará. A tendência, com os investimentos previstos na ordem de US\$ 1,2 bilhões no período de 2010/2014, é que a capacidade instalada no Brasil dê um salto 9,1 milhões de m³ em 2010 para 10,9 milhões de metros cúbicos anuais em 2014 (ABIPA, 2014).

Em termos econômicos, Biazus *et al.* (2010) afirma que o MDP e o MDF são os produtos de maior representatividade entre os painéis de madeira. Porém, o MDP se destaca, pois além de ser o painel mais consumido no mundo, seu custo de produção é menor. Os autores explicam que no Brasil, necessita-se em média de cerca de 30% mais estéreos de madeira na fabricação do MDF do que na fabricação do MDP. Este fato se reflete, historicamente, em custos de produção do painel de fibra cerca de 30% superiores aos custos de produção do painel de partícula.

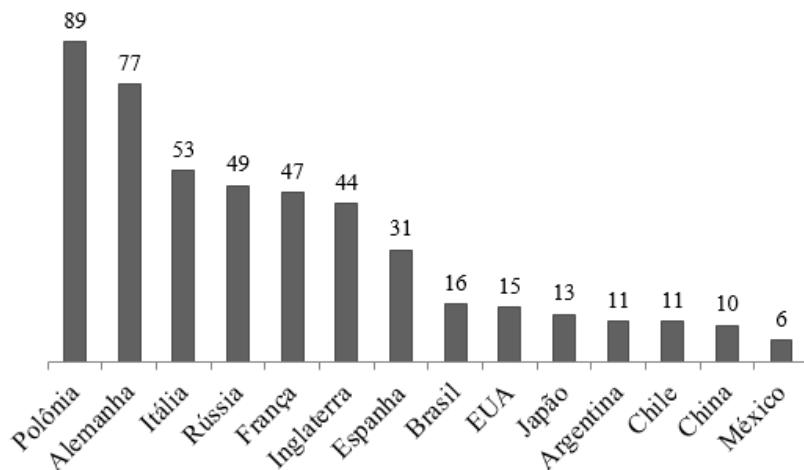
Conforme Lima *et al.* (2002), as elevadas taxas de crescimento apresentadas por este tipo de painel são justificadas pela ampla variedade de produtos possíveis de serem fabricados e a flexibilidade na aplicação para os diversos fins.

Segundo os números divulgados pela ABIPA (2014), apresentados na figura 6, nota-se que o consumo mundial de MDP é mais concentrado no eixo Europa-Ásia.

É importante salientar que o consumo per capita brasileiro (16,0 m³/mil hab.) encontra-se abaixo da média mundial (33,7 m³/mil hab.) e bastante abaixo da média do grupo dos 10 maiores produtores (43,3 m³/mil hab.), do qual faz parte (ABIPA, 2014). Esse mesmo comportamento era apresentado ainda em 2008, para o qual Biazus *et al.* (2010) explicou que a primeira vista, isso se deve ao erro de estratégia de entrada do MDP no mercado local (até então conhecido como aglomerado

e tido como um produto de baixa qualidade) e ao baixo consumo de compensados, voltados ao mercado externo.

Figura 6 - Consumo de MDP per capita no mundo em 2012, em m³/1000 hab.



Fonte: ABIPA (2014).

Iwakiri (2012) menciona que essa mudança na denominação comercial, de aglomerado para MDP, proporcionou a convivência dos painéis MDF e MDP no mesmo mercado, dividindo as partes de um mesmo móvel e trazendo benefícios ao consumidor por meio da otimização da relação custo-benefício.

Biazus *et al.* (2010) considera que com o reposicionamento do MDP e o sucesso do *marketing* referente à aplicabilidade e à qualidade do MDF, bem como a facilidade de acesso a esses produtos, verifica-se importante potencial de crescimento do consumo per capita do país.

2.3 VARIÁVEIS QUE INFLUENCIAM NAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DOS PAINÉIS

2.3.1 Variáveis inerentes à madeira

2.3.1.1 Espécie

Maloney (1993) considera que a espécie de madeira a ser utilizada no processo de produção de painéis de madeira aglomerada é de fundamental importância, visto que pode exercer influências positivas e negativas no produto final.

Maloney (1993) cita que diferentes espécies produzem tipos de matéria-prima distintas, o que exerce acentuada influência sobre o tipo de partícula a ser produzida no processamento, além de interagir com todas as outras variáveis no processo, determinando as propriedades do painel. As espécies exercem influência sobre os parâmetros de prensagem, sendo que as características anatômicas particulares estão presentes nas partículas submetidas à compressão, o que influi na resistência oferecida à compactação sob as condições de pressão e temperatura (MATOS, 1988).

Segundo Marra (1992), as espécies possuem forte influência na formação da ligação adesiva, sendo que geralmente madeiras de folhosas apresentam mais dificuldades do que as de coníferas para formar a ligação adesiva entre as partículas.

No Brasil, as espécies mais utilizadas para a produção de painéis de madeira são do gênero *Pinus*, principalmente o *Pinus taeda* e o *Pinus elliottii*, amplamente empregados nas matrizes industriais em função das suas excelentes características silviculturais e tecnológicas (IWAKIRI *et al.*, 2002).

Em relação à mistura de espécies, Vital (1973) aponta que a mistura de madeiras de diferentes massas específicas se apresenta como alternativa para o aproveitamento de madeiras com maiores massas específicas, resultando em painéis com massa específica e propriedades aceitáveis pelo mercado. O autor complementa observando que essa mistura de espécies pode representar uma saída para o aproveitamento de madeiras tropicais, de maiores e menores massas específicas.

2.3.1.2 Massa específica da madeira

Em relação aos constituintes anatômicos, a determinação da massa específica é decorrente da espessura das fibras ou traqueóides, o número e o diâmetro dos vasos, bem como a porcentagem de parênquima (KLOCK et al., 2005).

Maloney (1993) afirmou que a massa específica é a variável mais importante relativa à espécie, influenciando as propriedades finais dos painéis e, segundo Moslemi (1974), interfere nos parâmetros do processo, além de exercer influência sobre as propriedades dos produtos.

As espécies com massa específica de até $0,55 \text{ g/cm}^3$ são as mais adequadas à produção de painéis de partículas por atingirem uma razão de compactação adequada para o processo de densificação e consolidação do painel até a espessura final (MALONEY, 1993).

Basicamente, a baixa massa específica do material é um dos principais requisitos para a adequabilidade de uma espécie para produção de aglomerados (MOSLEMI, 1974), pois produz painéis mais resistentes para uma mesma massa específica de painel, porém obriga a maiores custos de transporte e armazenamento (HILLIG, 2000).

Maloney (1993) relata que painéis produzidos com matéria-prima de baixa massa específica normalmente apresentam maior resistência à flexão estática e à ligação interna, quando comparados aos painéis confeccionados com espécies de alta massa específica e com a mesma massa específica final do painel. Isso acontece porque a matéria-prima com baixa massa específica produz maior número de partículas para uma mesma massa determinada, promovendo uma maior área de contato no momento da prensagem e, quando é mantida a quantidade proporcional de adesivo por partícula, culmina em painéis com maior resistência mecânica (BRITO, 1984; MALONEY, 1993).

Ainda segundo Maloney (1993), as propriedades de absorção de água e inchamento em espessura passam a ter valores maiores pelo fato de que existe um maior número de partículas sendo comprimidas e com a presença de água em sua estrutura essas tensões são liberadas em maior quantidade.

Porém, Iwakiri *et al.* (2000) afirmam que é possível utilizar espécies de alta massa específica em misturas com espécies de baixa massa específica em proporções variáveis, observada a magnitude da diferença da massa específica entre as espécies.

Nesse sentido, vários estudos vêm sendo conduzidos, utilizando espécies cujos valores de massa específica não estão incluídos no

intervalo mais empregado, conforme citado por Hillig (2000), entre 0,40 e 0,60 g/cm³.

Em geral, esses estudos buscam revelar o potencial de espécies alternativas na produção de painéis de madeira aglomerada, assim, pode-se citar os trabalhos de Cabral *et al.* (2007) em avaliação de chapas aglomeradas produzidas com *Pinus elliottii*, *Eucalyptus grandis*, *E. urophylla* e *E. cloeziana*; de Naumann *et al.* (2008) em estudo sobre painéis aglomerados de *E. urophylla* e *Schizolobium amazonicum*; de Melo e Del Menezzi (2010) com *E. grandis*; de Trianoski (2010) com cinco espécies florestais alternativas de rápido crescimento; de Iwakiri *et al.* (2012b) em estudo abrangendo nove espécies de espécies tropicais da Amazônia; e de Bianche *et al.* (2012) em estudo envolvendo *S. amazonicum*; entre outros.

2.3.1.3 Extrativos

Extrativos são componentes químicos acidentais, não essenciais na estrutura da parede celular e na lamela média (KLOCK *et al.*, 2005; PEREIRA *et al.*, 2000). Ainda segundo os autores, esses extrativos são solúveis em água ou outros solventes orgânicos neutros.

Os extrativos são compostos de óleos voláteis, terpenos, graxas, ésteres, álcoois, mono e polissacarídeos, alcalóides e compostos aromáticos como, aldeídos, fenil-propano, estilbenos, flavonóides, taninos e quinonas (GOLDSTEIN, 1991). A presença e a proporção destes compostos são variáveis entre espécies e alguns são característicos de certas espécies (HIGUCHI, 1997).

As resinas de madeiras de folhosas estão localizadas nas células de parênquima do raio que estão conectados com os vasos (BARAÚNA, 2010). O cerne das folhosas é rico em polifenóis e em extrativos gordurosos que formam as tiloses (KLOCK *et al.*, 2005). Milota *et al.* (1995) e Silva (2007) afirmam que a quantidade de extrativos presentes na madeira também, de certa forma, influenciará na permeabilidade, pois, segundo esses autores, madeiras com alto teor de extrativos são menos permeáveis do que madeiras com menor quantidade de componentes químicos.

A porcentagem comum de extrativos é de 2 a 3% nas folhosas e de até 10% em certas coníferas. Apesar de sua quantidade pequena, os extrativos podem influenciar sobre a conveniência da utilização de um determinado processo (AREA, 2008).

Os extrativos também exercem considerável influência na produção de painéis de madeira, podendo comprometer a polimerização dos adesivos (HILLIS, 1962). O grau de comprometimento do processo de polimerização depende da quantidade e do tipo de extrativo (LIMA *et al.*, 2007). Isso acontece porque a sua elevada concentração e migração, que ocorre durante o processo de secagem, pode bloquear o contato do adesivo com a madeira (MENDES e ALBUQUERQUE, 2000).

De forma geral, espécies com altos teores de extrativos geram painéis cuja colagem é menos eficiente e de qualidade inferior em relação às com baixos teores. Além disso, extrativos em alta concentração podem dificultar a passagem da água e retardar a sua taxa de evaporação, o que aumenta o tempo de prensagem necessário (IWAKIRI, 2005).

2.3.1.4 Potencial de hidrogênio – pH

Segundo Albin (1975), em termos de processamento e aproveitamento da madeira, o pH influi na fixação de preservantes químicos, na aplicação de tintas e vernizes e na cura de resinas. Marra (1992) completa que influenciando diretamente na cura da resina, o pH conseqüentemente influencia na qualidade dos painéis produzidos, uma vez que, segundo Kollmann *et al.* (1975), estes processos ocorrem somente em faixas relativamente estreitas de pH.

O pH da madeira pode variar entre 3,0 e 5,5, devido à presença de extrativos ácidos ou da adsorção de cátions ou dos sais que a compõem a cinzas, deixando as soluções de equilíbrio ligeiramente ácido (STAMM, 1964).

Normalmente o pH do alburno situa-se entre 5 e 6 para quase todas as espécies e o pH do cerne alcança valores de 3 a 4, dependendo da quantidade e dos tipos dos extrativos (JONHS e NIAZI, 1980). O aumento da acidez no sentido medula-casca é devido à maior quantidade de extrativos no cerne e a hidrólise gradual dos grupos acetil, com a formação concomitante de ácido acético (STEWART *et al.*, 1961).

Xing *et al.* (2004) observaram relação linear entre o gel time da resina ureia formaldeído e o valor de pH da madeira. Kelly (1977) pondera que madeiras com pH muito ácido podem causar a pré-cura da resina ureia-formaldeído durante a fase de fechamento da prensa, prejudicando o grau de adesão entre as partículas e redução nos valores das propriedades mecânicas dos painéis. Em contrapartida, madeiras que apresentam pH pouco ácido requerem quantidade um pouco maior de catalisador para acelerar a cura da resina ureia-formaldeído.

2.3.2 Variáveis inerentes ao processo

2.3.2.1 Geometria das partículas

A geometria das partículas se refere ao tamanho e tipo da partícula, além da direção da grã em relação ao eixo longitudinal (MALONEY, 1976). O mesmo autor cita que a variável influencia na produção dos painéis por meio da razão de planicidade, do índice de esbeltez e da área superficial específica.

Segundo Alberto (1992), a razão de planicidade está estreitamente ligada ao volume relativo de ar do colchão e a área superficial específica, sendo esta última relacionada com o consumo de resina.

O índice de esbeltez é um parâmetro importante e exerce influência sobre as características do painel, como por exemplo, a área de contato entre as partículas, as propriedades mecânicas e o consumo de resina, além de influenciar, segundo Iwakiri *et al.* (2005), na qualidade de acabamento e usinabilidade. Moslemi (1974) observou que para partículas das superfícies dos painéis, o índice de esbeltez deve ser em torno de 120 a 200. O autor cita ainda que partículas com esse índice são finas e longas, possuindo alto grau de flexibilidade, particularmente quando obtidas de madeiras de espécies de média a baixa massa específica. Para o miolo o autor observa que o índice ideal deve ser em torno de 60.

Industrialmente, são utilizadas partículas de dimensões maiores na camada interna e partículas menores, ou finos, na camada externa (SANTOS ANDIRÁ, 2009). A utilização de finos na superfície confere melhor acabamento superficial ao painel, visando principalmente melhorar as condições de aplicação de materiais de revestimento (IWAKIRI *et al.*, 2005).

Considerando exclusivamente o tamanho das partículas, Moslemi (1974) e Maloney (1993) afirmaram que partículas menores, devido à maior área superficial requerem maior consumo de resina. Partículas maiores apresentam menor área superficial e, conseqüentemente, maior é a disponibilidade de resina.

A resistência à flexão, à tração paralela e perpendicular e ao arrancamento de parafusos são influenciadas pelo tamanho das partículas que, além disso influenciam na absorção de água e de outros líquidos, causando alteração na estabilidade dimensional e modificações superficiais nos painéis (MALONEY, 1989).

2.3.2.2 Massa específica dos painéis

A massa específica dos painéis é a medida de compactação individual das partículas, e depende, principalmente, da massa específica da madeira e da pressão aplicada durante a prensagem (VITAL *et al.*, 1974).

A massa específica dos painéis difere da massa específica da madeira sólida, segundo Bowyer *et al.* (2003), devido à adição de adesivos, aditivos e pela compressão exercida durante o processo de manufatura. Os autores complementam ainda afirmando que 3 a 12% do valor da massa específica dos painéis é composta por adesivos ou aditivos.

A massa específica dos painéis exerce considerável influência sobre as propriedades físicas e mecânicas (TRIANOSKI, 2010). A resistência mecânica dos painéis é aumentada e a estabilidade dimensional é diminuída para painéis com maior quantidade de material e consequentemente maior densificação durante a prensagem (KELLY, 1977; ALBERTO, 1992; MALONEY, 1993).

Desch (1973) ponderou que a massa específica dos painéis pode ser modificada basicamente por meio da utilização de madeiras de diferentes massas específicas ou variando a densificação do painel, porém Maloney (1993) afirma que o modo mais fácil é por meio do aumento do peso específico do painel, que é obtido pela variação da razão de compactação.

Segundo Hillig (2000), a diferença de massa específica entre as camadas é mais intensa quanto menor o tempo de fechamento da prensa, e é conhecida como gradiente de densidade. Segundo Melo e Del Menezzi (2010), esse gradiente pode ser influenciado pelo tipo de matéria-prima e fatores relacionados à prensagem como tempo de prensagem, tempo de fechamento da prensa e pressão específica aplicada.

Para Vignote e Jiménez (1996), a variação entre a massa específica da camada interna e da externa pode ser superior a 100%, aspecto que pode influenciar significativamente nas propriedades dos painéis, principalmente na resistência à flexão e a tração perpendicular à superfície do painel.

Vital (1973), ao estudar diferentes espécies de madeira utilizadas na manufatura de painéis aglomerados, verificou que a resistência à flexão dos painéis foi significativamente influenciada pela maior densificação das camadas externas, porém a resistência à ligação interna foi basicamente influenciada pela massa específica da camada interna do

painel. Hillig (2000) completa que este gradiente tem grandes efeitos sobre as propriedades dos painéis e, em geral, melhora suas propriedades. Isto porque uma maior massa específica das camadas externas do painel causa uma melhora nas propriedades de resistência à flexão (módulos de ruptura e de elasticidade).

2.3.2.3 Razão de compactação

A razão de compactação é determinada pela relação entre a massa específica do painel e a massa específica da madeira, sendo que para painéis comerciais o coeficiente encontrado é sempre maior que um (VITAL, 1973). Moslemi (1974) e Maloney (1993) consideram o intervalo entre 1,3 e 1,6 aceitável. Moslemi (1974) cita que valores acima de 1,6 podem melhorar as propriedades de resistência, porém pondera observando que inchamento em espessura será maior devido a maior razão de compactação exercida sobre o material durante a fase de prensagem do painel, causando uma posterior liberação da tensão de prensagem.

Segundo Vital (1973), durante a prensagem torna-se necessário comprimir as partículas de forma a produzir boa união com mínimo consumo de resina e também reduzir os espaços interiores e as irregularidades da superfície do painel. Ginzler e Peraza (1966) mencionam que a compactação do colchão durante a prensagem promove deformações plásticas nas partículas, principalmente nas camadas externas, podendo ocorrer a sua densificação antes do miolo.

De acordo com Moslemi (1974) e Maloney (1993) as propriedades físico-mecânicas de painéis são altamente influenciadas pela razão de compactação. Conforme estudos realizados por Iwakiri *et al.* (2008), painéis de elevada massa específica apresentam aumento do módulo de elasticidade, módulo de ruptura, ligação interna e compressão paralela.

Hillig (2000) considera que razões de compactação muito baixas não produzem bom contato entre as partículas, prejudicando a colagem e a resistência do painel e também afetam a absorção d'água por permitir maiores espaços para a sua penetração.

Em contrapartida, painéis feitos sob altas razões de compactação necessitam maior força de prensagem, ocasionando problemas com relação à liberação da água evaporada no momento da prensagem e também um consumo excessivo de matéria-prima (HILLIG, 2000). O autor completa ainda que altas razões de compactação causam a produção

de painéis de alta massa específica o que, muitas vezes, torna o painel muito pesado.

2.3.2.4 Composição dos painéis

O processo de produção de painéis de madeira aglomerada no Brasil tem sido predominantemente realizado pelo processo de formação em multicamada (LIMA *et al.*, 2002), mais precisamente três, com partículas de geometria variada geradas a partir da madeira em toras (BRITO *et al.*, 2005).

Painéis multicamadas são tecnicamente superiores para muitas aplicações, uma vez que esta composição possibilita o aumento das propriedades de resistência, visto que partículas pequenas e finas são mais adequadas à camada externa ou superficial, proporcionando assim um bom acabamento, o qual é extremamente importante quando o painel é destinado à produção de móveis (BOWYER *et al.*, 2003).

A utilização de diferentes espécies em conjunto com o *Pinus taeda* na composição em camadas, tanto na interna quanto na externa, foi relatada como promissora por diversos autores como TRIANOSKI *et al.* (2011) e SANCHES (2012), uma vez que os painéis produzidos dessa forma atenderam aos requisitos exigidos por normas internacionais, e no geral, igualam ou superam os valores obtidos por painéis homogêneos.

Trianoski *et al.* (2011) apontam que esta composição (multicamada) pode ampliar a diversificação de matéria-prima nos processos industriais.

2.3.2.5 Umidade das partículas

O teor de umidade das partículas é um fator crítico e decisivo no desenvolvimento do gradiente vertical de densidade, assim como no tempo de prensagem (IWAKIRI, 1989; ALBUQUERQUE, 2002). Kelly (1977) observou que esta variável interfere diretamente na reação química de polimerização e condensação do processo de cura da resina.

Segundo Matos (1988), a importância do teor de umidade das partículas durante o ciclo de prensagem deve-se à influência que este exerce sobre a resistência da madeira para compressão. Salienta ainda que a umidade, juntamente com a temperatura, proporcionam uma maior plasticização da madeira, que oferecerá menor resistência à compactação, além de favorecer a transferência de calor desde a superfície até o miolo.

Conforme estudos de Kollmann *et al.* (1975), as partículas devem ser secas ao teor de umidade entre 3 a 6% e de forma uniforme, ocasionalmente podendo variar entre 5 e 12%. Os autores reiteram que caso as partículas não sejam secas até a faixa ideal, ou seja, acima de 6%, poderá ocorrer vazios dentro do painel, devido à interação química entre a madeira e o adesivo não ter ocorrido normalmente. No entanto, quando as partículas forem secas abaixo de 3%, pode ocorrer riscos de incêndio em secadores, descargas eletrostáticas em tubulações, aumento do pó na indústria e painéis com bordas deficientes.

Moslemi (1974), Matos (1988) e Albuquerque (2002) ressaltam que teores de umidade elevados tornam as partículas mais flexíveis, requerendo um menor tempo para atingir uma determinada espessura. Porém, os autores ponderam que a umidade em excesso requer um tempo maior de prensagem, devido ao efeito retardante na cura da resina. Além disso, Tsoumis (1991) observou que partículas com teor de umidade elevado podem causar bolsas de vapor na camada interna do painel durante o processo de prensagem.

Segundo Maloney (1976), caso haja uma variação da massa específica em relação às camadas que formam os painéis, as que apresentarem um teor de umidade maior serão mais densificadas. O painel produzido com partículas nessa condição de umidade apresentará maior resistência e rigidez à flexão do que as prensadas com um teor de umidade uniforme através do colchão.

2.3.2.6 Parâmetros de prensagem

O processo de prensagem é considerado a etapa mais crítica para a consolidação do painel (CAI *et al.*, 2009), pois regula o fluxo de produção e o consumo de energia (MATOS, 1988).

Na indústria de painéis de partículas é muito importante considerar o conjunto de condições sob o qual as partículas são prensadas e consolidadas, tais como pressão, temperatura e tempo de prensagem. Esta fase do processo é conhecida como ciclo de prensa (MATOS, 1988), no qual ocorre a consolidação do material e na qual são definidas, em grande parte, as propriedades finais do produto (OLMOS, 1992; MATOS e KEINERT JÚNIOR, 1988).

Conforme Samlaic (1982), a pré-prensagem dos painéis de madeira compensada e de madeira aglomerada proporciona substanciais vantagens, pois esta operação aumenta a produção, economiza resina, evita os refugos e diminui o custo operacional do produto.

Na prensagem propriamente dita, a aplicação de uma pressão mínima é necessária para a densificação do colchão até a espessura final do painel e também para assegurar um contato superficial adequado entre as partículas de madeira (KELLY, 1977; MOSLEMI, 1974).

Oliveira e Freitas (1995) afirmam que o tempo de prensagem pode variar de 4 a 8 minutos, dependendo da espessura do painel, da umidade do colchão e da temperatura de prensagem. O que corrobora com a colocação de Iwakiri (2005), de que o tempo de prensagem depende, além dos fatores supracitados, da eficiência da transferência de calor, da distribuição da umidade no colchão e genericamente pode ser definido em torno de 6 a 12 segundos por mm de espessura.

A taxa de transferência de calor ocorre das camadas superficiais para o centro do painel, onde nos primeiros instantes de prensagem, ocorre a formação de vapor nas faces do colchão, plasticizando a madeira e facilitando sua compressão (ELEOTÉRIO, 2000). Conforme Calegari et al. (2000), a cura completa de painéis de madeira ocorre após certo período em que a temperatura do centro do painel, parte mais distante dos pratos aquecidos da prensa, atinge temperaturas superiores a 100 °C, temperatura suficiente, segundo Marra (1992), para que ocorra a polimerização da resina. Calegari et al. (2000) completam afirmando que o tempo de prensagem exerce influências significativas sobre as propriedades dos painéis, controle de espessura, qualidade de superfície e pré-cura.

Em relação à temperatura, Iwakiri (2005) afirma que é uma variável do processo definida em função do tipo de resina utilizada. O autor coloca que a temperatura e o tempo de prensagem são inversamente proporcionais, sendo que ao utilizar altas temperaturas a consequência direta é o aumento de produtividade da unidade fabril. Maloney (1993) pondera que o uso de valores elevados deste parâmetro proporciona uma polimerização mais rápida e como consequência uma maior resistência do colchão, porém requer maior pressão para atingir a espessura final.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA

A matéria-prima utilizada no presente estudo foi composta por partículas de *Pinus spp.*, resíduos de madeira do processo de beneficiamento de cinco espécies tropicais comerciais, resina ureia formaldeído e emulsão de parafina.

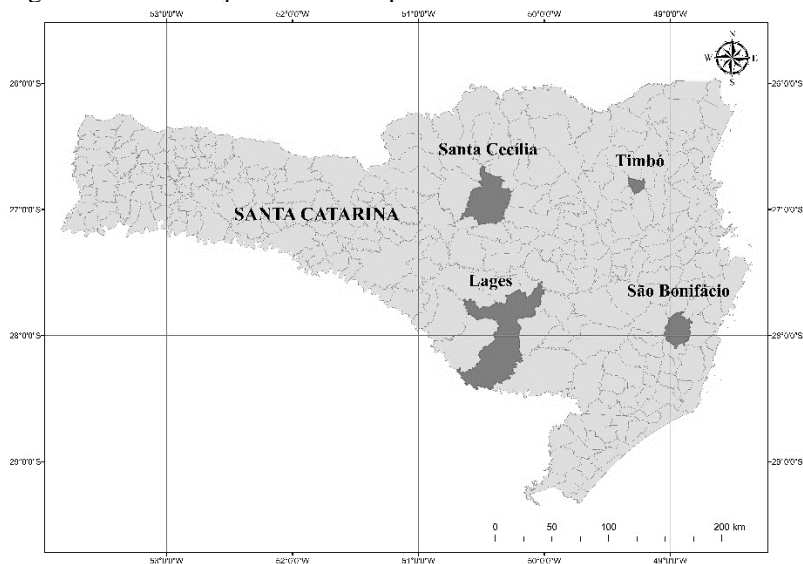
O material referente ao *Pinus spp.* foi coletado no processo produtivo da empresa Bonet Madeiras e Papéis Ltda., situada em Santa Cecília – SC (ver Figura 7). A empresa utiliza apenas madeira do gênero *Pinus sp.* na sua linha de produção, sem distinção de espécie. No entanto, sabe-se que as toras são provenientes de reflorestamentos de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*. A coleta do material foi realizada após a passagem das toras pelo cepilhador, originando partículas tipo *flake*.

Os resíduos do beneficiamento das espécies tropicais angelim, cambará, canelão, cedro e itaúba foram coletados em diferentes empresas de Santa Catarina: Comércio de Madeiras Schmidt Ltda. e Esquadrias Guanabara Ltda., ambas de Lages – SC, Madetim Ltda., de Timbó – SC e Madebuss Fábrica de Esquadrias de Madeira Ltda., de São Bonifácio – SC (ver Figura 7).

Salienta-se que essas empresas foram selecionadas em função da facilidade de obtenção do material e as espécies por serem as mais utilizadas pelas empresas. Todas as empresas compram pranchões de madeira das regiões Norte e Centro-Oeste do Brasil e beneficiam em móveis e esquadrias. Os resíduos deste processo, geralmente são vendidos para indústrias de energia pelas empresas de Lages, utilizados para adubação em Timbó e inutilizados pela empresa em São Bonifácio. A coleta do material foi realizada após passagem das peças na plaina.

Além dos resíduos, foram coletadas amostras de madeira sólida de cada espécie tropical para a identificação anatômica e determinação da massa específica básica.

Figura 7 - Localização dos municípios de coleta de material.



Fonte: produção do próprio autor, a partir de shapefiles do banco de dados da EPAGRI/CIRAM.

A resina utilizada na composição dos painéis foi a ureia formaldeído (UF), fornecida pela Indústria de Compensados Sudati Ltda. de Otacílio Costa, Santa Catarina. De acordo com o boletim técnico disponibilizado pela empresa, a resina apresentava pH a 25°C de 8,1, densidade a 25°C de 1,29 g/cm³ e teor de sólidos de 66%.

Ainda na composição do adesivo, foi utilizada a emulsão de parafina, fornecida pela empresa Isogama Indústria Química Ltda., cuja função era reduzir a higroscopicidade dos painéis. O boletim técnico disponibilizado pela empresa apresentava as seguintes características: pH a 25°C de 9,8, densidade a 25°C de 0,920 g/cm³ e teor de sólidos de 61%.

3.1.1 Caracterização anatômica da madeira

A preparação das amostras para análise anatômica das espécies foi realizada no Laboratório de Anatomia e Qualidade da Madeira da Universidade Federal do Paraná (UFPR).

3.1.1.1 Análise anatômica das fibras

As amostras das cinco espécies tropicais, com dimensões aproximadas de 3 x 3 cm, foram utilizadas no processo de retirada de lascas para compor as amostras de macerado. As amostras foram colocadas em tubos de ensaio com a solução macerante (ácido acético e peróxido de hidrogênio 1:1), segundo a metodologia proposta por Franklin (1937). As amostras foram levadas para a estufa a 60°C por 24 horas. Após esse período, as amostras foram retiradas da estufa, lavadas e coradas com safranina.

Posteriormente, foram montadas lâminas provisórias e obtidas informações relacionadas às fibras (comprimento, diâmetro da fibra e do lume); todos com 25 repetições, mensurados por meio de microscópio óptico equipado com ocular graduada.

Com os valores de diâmetro, foi possível calcular a espessura da parede da fibra (ver equação 1).

$$E_{PF} = \frac{D_F - D_L}{2} \quad (1)$$

Em que:

E_{PF} é a espessura da parede da fibra, em micrômetros.

D_F é o diâmetro da fibra, em micrômetros.

D_L é o diâmetro do lume, em micrômetros.

3.1.1.2 Análise anatômica da madeira

Posteriormente, as sobras das amostras de madeira utilizadas para obtenção do macerado foram reduzidas a cubos de aproximadamente 1 cm³, sendo realizado o amolecimento parcial das amostras por cozimento, com período variando de acordo com a espécie.

As amostras foram cortadas em micrótomo Zeiss Hyrax S50 com 20 µm de espessura. Em seguida, os cortes foram submetidos à dupla coloração (safranina e azul de astra 1:1) por 30 minutos, e logo após desidratados em série etílica (10, 30, 50, 70, 90 e 100%).

Os cortes foram então passados em acetato de butila. Para obtenção das lâminas permanentes utilizou-se a resina sintética Entellan®.

Com as lâminas devidamente preparadas, foram visualizadas as estruturas anatômicas para posterior descrição de acordo com a lista de características microscópicas para angiospermas do IAWA Committee (1989), bem como a obtenção dos registros virtuais das estruturas visualizadas em microscópio Leica DM 4000B com câmera acoplada Leica DFC 300FX.

Com a descrição anatômica finalizada, procedeu-se à identificação das espécies. Esta etapa foi realizada por meio do exame das principais características do lenho (vasos, raios, fibras e parênquima) em análise direta no microscópio.

As lâminas utilizadas como padrão encontravam-se disponíveis no laminário do próprio laboratório. Além das lâminas, um levantamento bibliográfico acerca das espécies também contribuiu com informações para a identificação da madeira.

3.1.2 Massa específica básica da madeira

A massa específica básica do *Pinus spp.* foi obtida com base na literatura, considerando variações de idade e espécie.

Para a determinação da massa específica básica da madeira das cinco espécies tropicais foi utilizado o procedimento de imersão em água descrito na norma NBR 11941 (ABNT, 2003).

O material utilizado para a determinação da massa específica básica foi composto por 8 corpos de prova de cada espécie, com formatos e dimensões irregulares, sendo que a variável foi obtida pela relação entre a massa de cada corpo de prova completamente seca (0% de umidade) e o volume saturado, conforme equação 2.

$$ME_{\text{bas}} = \frac{M_S}{V_{\text{SAT}}} \quad (2)$$

Em que:

ME_{bas} é a massa específica básica da madeira, em g/cm³.

M_S é a massa seca do corpo de prova, em gramas.

V_{SAT} é o volume saturado do corpo de prova, em cm³.

3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental apresentado na tabela 1 envolveu a produção de painéis homogêneos puros com cada uma das cinco

espécies tropicais (angelim, cambará, canelão, cedro e itaúba) e também com *mix* das espécies de forma proporcional, ou seja, 20 partes de cada espécie em cada painel.

Para efeito de comparação das propriedades tecnológicas dos painéis das espécies tropicais, foram produzidos painéis homogêneos de *Pinus spp.*, os quais serviram como testemunha no experimento, tendo em vista que é o gênero mais utilizado pelo segmento de painéis de madeira reconstituída.

Tabela 1 - Delineamento experimental.

Tratamento	Composição do painel (%)			Composição das camadas
	<i>Pinus spp.</i>	Espécie tropical		
1	0	100	Angelim	Homogêneo
2	60	40	Angelim	Multicamada
3	0	100	Cambará	Homogêneo
4	60	40	Cambará	Multicamada
5	0	100	Canelão	Homogêneo
6	60	40	Canelão	Multicamada
7	0	100	Cedro	Homogêneo
8	60	40	Cedro	Multicamada
9	0	100	Itaúba	Homogêneo
10	60	40	Itaúba	Multicamada
11	0	100	<i>Mix</i>	Homogêneo
12	60	40	<i>Mix</i>	Multicamada
13	100	0	---	Homogêneo

Fonte: produção do próprio autor.

Como a massa específica básica das espécies tropicais é mais elevada que a do *Pinus spp.*, isto pode refletir em uma baixa razão de compactação e conseqüentemente baixas propriedades de resistência e rigidez, produziu-se também painéis multicamadas com a mistura das espécies, sendo *Pinus spp.* na camada interna e as espécies puras ou *mix* na camada externa, sempre na proporção 20:60:20.

Salienta-se que para cada um dos tratamentos foram produzidos 3 painéis utilizando os seguintes parâmetros:

Características da matéria-prima:

Teor de resina ureia formaldeído	12% psp*
Teor de emulsão de parafina	1% psp*
Teor de umidade das partículas	4 ± 1%

*psp = valor calculado com base peso seco das partículas.

Prensagem a frio:

Pressão	5 kgf/cm ²
Tempo	6 min

Prensagem a quente:

Pressão	40 kgf/cm ²
Temperatura	160°C
Tempo	8 min

Características do painel:

Dimensões do painel	40 x 40 x 1,6 cm
Densidade nominal dos painéis	0,65 g/cm ³

3.3 PREPARO DO MATERIAL

Para os resíduos coletados nas plainas estarem aptos para compor os painéis, realizou-se a passagem do material por um moinho de facas rotativas para homogeneização e obtenção das partículas. Posteriormente o material foi classificado para eliminação dos finos. Ao final, as partículas apresentavam média de 0,9 mm de espessura, 22 mm de comprimento e largura variável. O aspecto das partículas é apresentado na Figura 8. Já as partículas de *Pinus spp.* foram obtidas do processo industrial, não necessitando desta etapa.

Figura 8 - Partículas de espécie tropical utilizadas na produção dos painéis.



Fonte: produção do próprio autor.

Finalizando a etapa de preparo, todas as partículas (de espécies tropicais e *Pinus spp.*) passaram pela secagem a 45°C de temperatura em uma estufa com circulação forçada de ar até atingirem o teor de umidade desejado no estudo que é de 4+/-1%.

3.4 PRODUÇÃO DOS PAINÉIS

A partir do cálculo da massa de partículas e adesivo, com base nas dimensões e na massa específica dos painéis, e no teor de sólidos da resina e da emulsão de parafina, foi iniciada a produção.

A incorporação da resina e da parafina nas partículas foi feita de forma independente em uma encoladeira dotada de uma pistola localizada na parte central do tambor rotativo que pulverizava os componentes químicos nas partículas com auxílio de um compressor. Ao mesmo tempo em que era realizada a pulverização, o tambor girava a uma velocidade de 20 rpm, totalizando o processo de aplicação da resina após 15 minutos e da emulsão de parafina após 5 minutos.

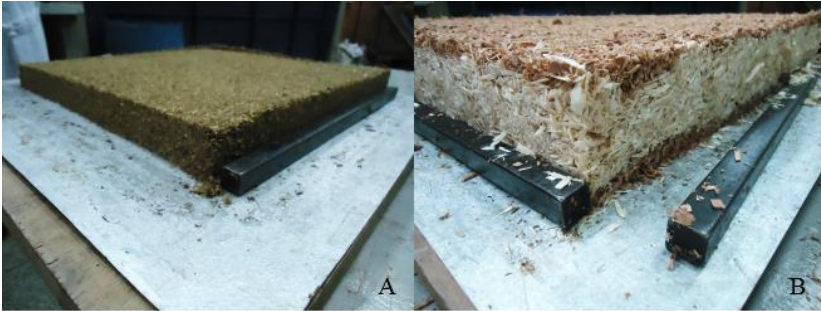
Para a montagem de cada colchão, foi utilizada como gabarito uma caixa vazada nas partes superior e inferior com dimensões internas de 40x40 cm, a qual era colocada sobre uma chapa de aluzinco com dimensões de 50x50 cm que servia como base para o colchão. A deposição da massa de partículas e adesivo foi feita de forma manual no interior do gabarito, procurando sempre depositar a mesma quantidade de material em todos os pontos para não influenciar na massa específica ao longo de todo o painel.

Após a formação do colchão, foi realizada uma pré-prensagem a frio, sendo retirado o gabarito e colocada outra chapa de aluzinco na parte superior do colchão para evitar que o material prensado ficasse retido no prato da prensa hidráulica.

Nas laterais do colchão foram colocadas barras de ferro com dimensões de 16 mm para servirem como *stops* e auxiliar no controle da espessura final dos painéis.

Como a quantidade de material na composição do colchão é definida por peso, a espessura do colchão está em função da massa específica da espécie utilizada, resultando em diferentes espessuras, ou seja, quanto menor a massa específica da madeira utilizada, maior foi a altura do colchão (ver Figura 9).

Figura 9 - Espessura variável do colchão. A – colchão homogêneo de espécie tropical; B – colchão multicamada; como referência as barras de ferro de 16 mm de altura.



Fonte: produção do próprio autor.

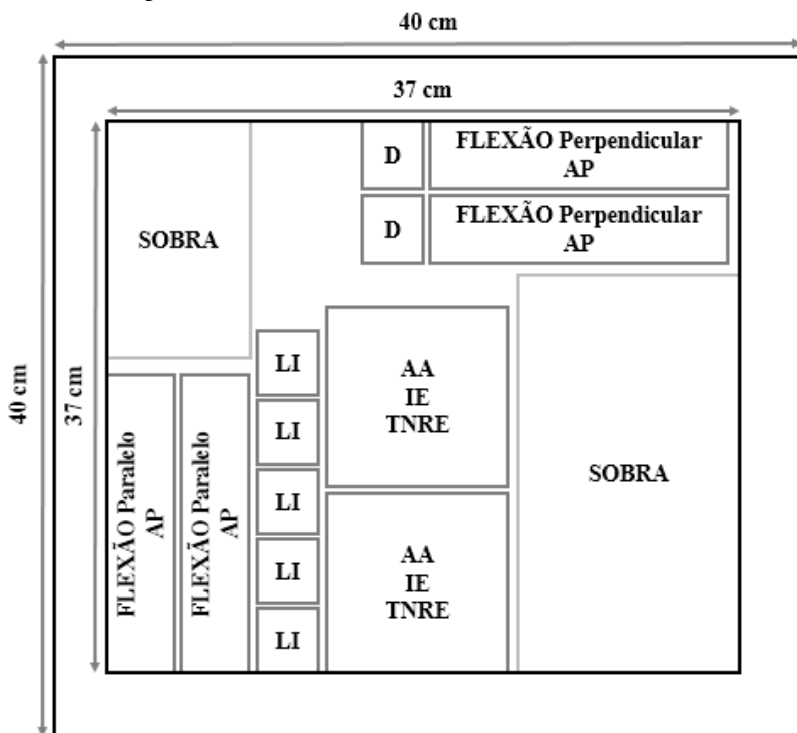
A prensagem foi realizada de acordo com o ciclo de prensa determinado anteriormente. Após a abertura dos pratos da prensa, o painel era retirado e marcado em função do tratamento e repetição. Depois de identificados, os painéis foram acondicionados em uma sala com umidade relativa ($65\pm 5\%$) e temperatura ($20\pm 3^\circ\text{C}$) constantes até a estabilização do peso.

3.5 ENSAIOS FÍSICOS E MECÂNICOS DOS PAINÉIS

A etapa de esquadreamento dos painéis foi realizada após o término do período de acondicionamento, conforme o *layout* de corte dos painéis apresentado no estudo de Mendes (2010), figura 10.

A determinação das propriedades físicas e mecânicas foi realizada de acordo com as normas apresentadas na tabela 2.

Figura 10 - *Layout* de corte dos painéis para obtenção dos corpos de prova.



Em que: D é a densidade e umidade; AP é o arrancamento de parafuso; LI é a ligação interna ou tração; AA é a absorção de água; IE é o inchamento em espessura; TNRE é a taxa de não retorno em espessura. Fonte: adaptado de Mendes (2010).

Tabela 2 - Referencial normativo para os ensaios físicos e mecânicos dos painéis.

Ensaio	Norma
Densidade e teor de umidade	ASTM D1037 (ASTM, 1995)
Razão de compactação	----
Absorção de água	ASTM D1037 (ASTM, 1995)
Inchamento em espessura	ASTM D1037 (ASTM, 1995)
TNRE	----
Flexão estática	DIN 52362 (DIN, 1982)
Tração (ligação interna)	ASTM D1037 (ASTM, 1995)
Arrancamento de parafuso	ASTM D1037 (ASTM, 1991)

Em que: TNRE é a taxa de não retorno em espessura. Fonte: produção do próprio autor.

3.5.1 Razão de Compactação

A razão de compactação foi determinada por meio da massa específica dos corpos de prova de cada painel e da massa específica básica da madeira sólida (ver equação 3). No caso dos painéis multicamadas e dos painéis formados pelo *mix* das espécies, a massa específica da madeira foi calculada de forma proporcional.

$$RC = \frac{ME_P}{ME_{bas}} \quad (3)$$

Em que:

RC é a razão de compactação, adimensional.

ME_P é a massa específica do painel, em g/cm³.

ME_{bas} é a massa específica básica da madeira, em g/cm³.

3.5.2 Taxa de não retorno em espessura

A taxa de não retorno em espessura, também conhecida como *springback* ou inchamento residual, foi determinada por meio da equação 4, sendo os cálculos baseados na espessura dos painéis em duas condições: na umidade de equilíbrio após o processo de climatização dos corpos de prova, e na umidade de equilíbrio após segundo período de climatização (realizado após o ensaio de inchamento em espessura).

$$\text{TNRE} = \frac{E_f - E_i}{E_i} * 100 \quad (4)$$

Em que:

TNRE é a taxa de não retorno em espessura, em porcentagem;

E_f é a espessura final, após o segundo período de climatização, na condição de umidade de equilíbrio, em milímetros;

E_i é a espessura inicial, após o primeiro período de climatização, na condição de umidade de equilíbrio, em milímetros.

3.6 MODELO EXPERIMENTAL E ANÁLISE DOS DADOS

Quanto às análises preliminares, para a análise anatômica e massa específica básica da madeira das espécies tropicais utilizou-se a estatística descritiva.

O modelo experimental utilizado para a análise dos painéis de partículas de média densidade foi o delineamento inteiramente casualizado com arranjo fatorial, considerando como fatores as características de composição (com dois níveis: homogêneo e multicamada) e espécie (com seis níveis: angelim, cambará, canelão, cedro, itaúba e *mix*), resultando em 12 tratamentos. Adicionalmente foi utilizado um tratamento de composição homogênea composto por *Pinus spp.*, com o intuito de comparar os resultados com a espécie mais utilizada pelo setor. Adotaram-se três repetições por tratamento, número considerado adequado para um produto industrial.

Inicialmente os dados foram submetidos a análises preliminares, nas quais foram verificados os pressupostos para utilização da estatística paramétrica. Assim, os dados foram testados quanto à presença de *outliers*, normalidade da distribuição e homogeneidade de variâncias. O primeiro teste foi realizado por meio de análise gráfica (*boxplot*) e descritiva dos dados, o segundo pelo teste de Kolmogorov-Smirnov e por fim, as variâncias foram avaliadas por meio do teste de Levene.

A normalidade dos dados foi comprovada para todas as variáveis de estudo, porém foram encontradas algumas violações dos pressupostos. A presença de alguns *outliers* foi contornada corrigindo erros de digitação e a homocedasticidade foi obtida por meio de transformações matemáticas de algumas variáveis (inchamento e taxa de não retorno em espessura, absorção de água e arrancamento de parafuso) utilizando-se as funções de logaritmo neperiano e raiz quadrada. Desta forma, os dados de

todas as variáveis se tornaram aptos para a realização da análise estatística dos resultados.

Os resultados foram avaliados por meio de análises fatoriais (*two-way* ANOVA) para verificar a influência de cada fator na variável de interesse (cada uma das propriedades físicas e mecânicas dos painéis) e da interação entre os fatores, ou seja, se um fator influencia o outro e vice-versa. Quando detectada influência estatisticamente significativa, utilizou-se de teste de comparação de médias de Bonferroni a 95% de confiança, para identificar onde exatamente se encontravam as diferenças entre os níveis dos fatores.

Em contrapartida, para a comparação com o tratamento 13 (*Pinus spp.*) foi utilizado o teste de comparação de médias de Dunnet a 95% de confiabilidade, que trata um grupo como controle (testemunha) e compara todos os outros grupos com este.

Todos os resultados foram comparados com a literatura disponível e com as normas de qualidade nacional (NBR 14810) e internacionais (ANSI A208.1, CS 236-66, CSA 0437, EN 312-2).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA DA MADEIRA DAS ESPÉCIES TROPICAIS

A seguir são apresentadas as descrições anatômicas das cinco espécies tropicais utilizadas no estudo.

4.1.1 Angelim

Identificação: *Hymenolobium* sp. / *Andira* sp.

Família: Fabaceae

Nome comercial: angelim, angelim-pedra

Vasos simples de seção arredondada e múltiplos de seção ovalada; difusos; pouco abundantes (2,1 vasos/mm²); solitários, alguns geminados e múltiplos de 3, 4 e 5 radiais; diâmetro tangencial variável de 120 a 330 µm; placas de perfuração simples; pontoações intervasculares alternas e grandes (10 – 11,25 µm). Raios heterogêneos (tipo III de Kribs); multisseriados; com altura variando de 110 a 303 µm, altura em número de células de 10 a 31 células; de 3 a 8 raios por mm; pontoações raio vasculares alternas e pequenas (5 – 6,25 µm). Parênquima axial abundante, paratraqueal aliforme confluyente. Fibras de paredes espessas não-septadas.

As mensurações dos elementos anatômicos são apresentadas na Tabela 3.

A estrutura anatômica nos três planos da madeira de angelim é apresentada nas micrografias da Figura 11.

A dificuldade de identificação da espécie de angelim é descrita por Mainieri e Primo (1964), em estudo anatômico macro e microscópico de madeiras comumente denominadas angelim, no qual os autores observaram que as madeiras do gênero *Hymenolobium* além de apresentarem pequena variação na sua estrutura, são muito semelhantes, de aspecto característico, porém menos acentuado do que aquele do lenho das espécies do gênero *Andira* estudadas.

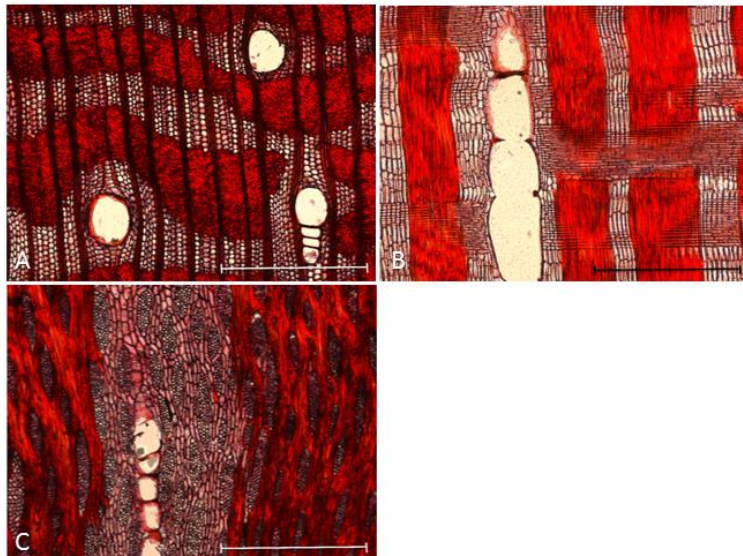
Tabela 3 - Ficha biométrica relativa aos principais elementos anatómicos da madeira de angelim.

Medida	Mínimo	Máximo	Média	CV (%)
Fibra				
Comprimento (μm)	1325,0	2705,0	1936,4	24,2
Largura (μm)	17,5	37,5	24,8	19,3
Diâmetro do lume (μm)	1,3	11,3	4,3	59,9
Espessura da parede (μm)	5,0	16,9	10,0	23,3
Vaso				
Diâmetro (μm)	120,0	330,0	228,4	26,1
Frequência (nc/mm^2)	0,5	5,0	2,1	68,0
Raio				
Altura (nc)	10,0	31,0	18,2	24,3
Altura (μm)	110,0	302,5	182,3	24,5
Largura (nc)	2,0	4,0	3,3	16,8
Largura (μm)	12,5	45,0	25,6	33,2
Distribuição (nc/mm)	3,0	8,0	5,6	22,1

Em que: CV = coeficiente de variação. Fonte: produção do próprio autor.

Os resultados de algumas espécies (*H. petraeum*, *H. excelsum*, *A. fraxinifolia*, *A. parviflora*) estudadas por Mainieri e Primo (1964), da espécie *H. petraeum* do estudo de Alves et al. (2009), bem como as lâminas de *Hymenobium sp.* e *A. coriacea* da coleção do Laboratório de Anatomia da Madeira da UFPR se assemelham, em parte, aos resultados obtidos no presente estudo, porém não o suficiente para relacioná-los com clareza.

Figura 11 - Micrografias dos três planos de observação da madeira de angelim. A – plano transversal (5x); B – plano longitudinal radial (5x); C – plano longitudinal tangencial (5x). Escala: 1 mm.



Fonte: produção do próprio autor

4.1.2 Cambará

Identificação: *Qualea sp.*

Família: Vochysiaceae

Nome comercial: cambará

Vasos simples de seção arredondada e múltiplos de seção ovalada; difusos; pouco abundantes (3,4 vasos/mm²); maioria solitários, com alguns geminados e múltiplos de 3 e 4 radiais; diâmetro tangencial variável de 110 a 300 µm; placas de perfuração simples; pontoações intervasculares alternas e pequenas (5 µm); tilos presentes. Raios homogêneos não exclusivamente unisseriados; uni e multisseriados com células procumbentes; com altura variando de 23 a 355 µm, altura em número de células de 1 a 20 células; de 4 a 11 raios por mm; pontoações raio vasculares alternas e diminutas (2 – 3 µm); conteúdo nas células de

raio presente. Parênquima axial abundante, paratraqueal aliforme confluyente. Fibras de paredes espessas não-septadas.

As mensurações dos elementos anatômicos são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Ficha biométrica relativa aos principais elementos anatômicos da madeira de cambará.

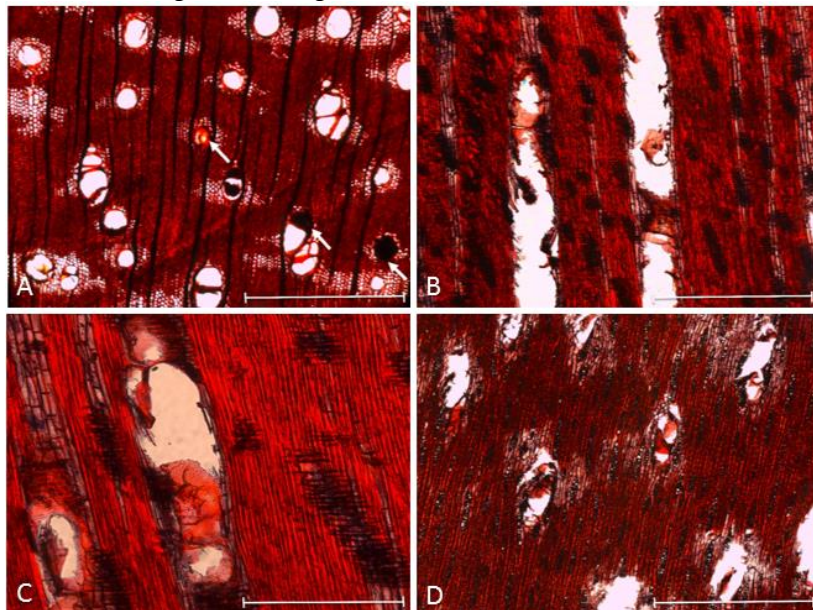
Medida	Mínimo	Média	Máximo	CV (%)
Fibra				
Comprimento (μm)	730,0	1178,0	1445,0	13,9
Largura (μm)	12,0	30,0	20,8	16,8
Diâmetro do lume (μm)	3,8	12,5	7,4	31,9
Espessura da parede (μm)	2,3	6,7	9,4	21,5
Vaso				
Diâmetro (μm)	110,0	164,0	300,0	22,5
Frequência (nc/mm^2)	1,0	3,4	4,5	27,9
Raio				
Altura (nc)	1,0	9,3	20,0	50,3
Altura (μm)	22,5	159,7	355,0	45,6
Largura (nc)	1,0	2,0	3,0	25,0
Largura (μm)	17,5	29,2	42,5	22,9
Distribuição (nc/mm)	4,0	7,3	11,0	19,2

Em que: CV = coeficiente de variação. Fonte: produção do próprio autor

A estrutura anatômica nos três planos da madeira de cambará é apresentada nas micrografias da Figura 12.

Paula et al. (2000), em estudo de caracterização anatômica de espécies de matas ciliares da região centro-oeste do Brasil, encontraram resultados para *Qualea dichotoma* aproximados aos do presente estudo, porém não conclusivos. Foram encontradas ainda semelhanças com as lâminas de *Qualea sp.* da coleção do Laboratório de Anatomia da Madeira da UFPR. A partir das comparações realizadas, a identificação do cambará culminou em nível de gênero.

Figura 12 - Micrografias dos três planos de observação da madeira de camará. A - plano transversal (5x); B e C - plano longitudinal radial (5x e 10x, respectivamente); D - plano longitudinal tangencial (5x). Escala: 1 mm.



Flechas na figura A indicam a presença de tilos. Fonte: produção do próprio autor

4.1.3 Canelão

Identificação: *Ocotea sp.* / *Nectandra sp.*

Família: Lauraceae

Nome comercial: canelão, canelão do Mato Grosso

Vasos simples de seção arredondada e múltiplos de seção ovalada; difusos; abundância média (7,1 vasos/mm²); solitários, alguns geminados e múltiplos de 3, 4 e 5 radiais; diâmetro tangencial variável de 120 a 230 µm; placas de perfuração simples; pontoações intervasculares alternas, grandes (15 – 17,5 µm); tilos presentes. Raios heterogêneos (tipo III de Kribs); uni e multisseriados; com altura variando de 118 a 503 µm, altura

em número de células de 8 a 35 células; de 3 a 7 raios por mm; pontoações raio vasculares alternas e grandes (10 μm); presença de células oleíferas. Parênquima axial escasso. Fibras de paredes medianas a espessas, acompanhando gradualmente o anel de crescimento, delimitando-o por uma estreita faixa composta por fibras mais espessas; septadas.

As mensurações dos elementos anatômicos são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Ficha biométrica relativa aos principais elementos anatômicos da madeira de canelão.

Medida	Mínimo	Média	Máximo	CV (%)
Fibra				
Comprimento (μm)	440,0	1202,0	1580,0	23,3
Largura (μm)	10,0	30,0	21,5	23,0
Diâmetro do lume (μm)	1,3	18,8	9,5	48,2
Espessura da parede (μm)	3,8	6,0	8,8	25,2
Vaso				
Diâmetro (μm)	120,0	169,6	230,0	14,4
Frequência (nc/mm ²)	4,5	7,4	13,0	27,9
Raio				
Altura (nc)	8,0	16,9	35,0	42,3
Altura (μm)	117,5	271,7	502,5	42,6
Largura (nc)	2,0	2,4	3,0	20,8
Largura (μm)	20,0	41,2	55,0	21,9
Distribuição (nc/mm)	3,0	5,4	7,0	17,8

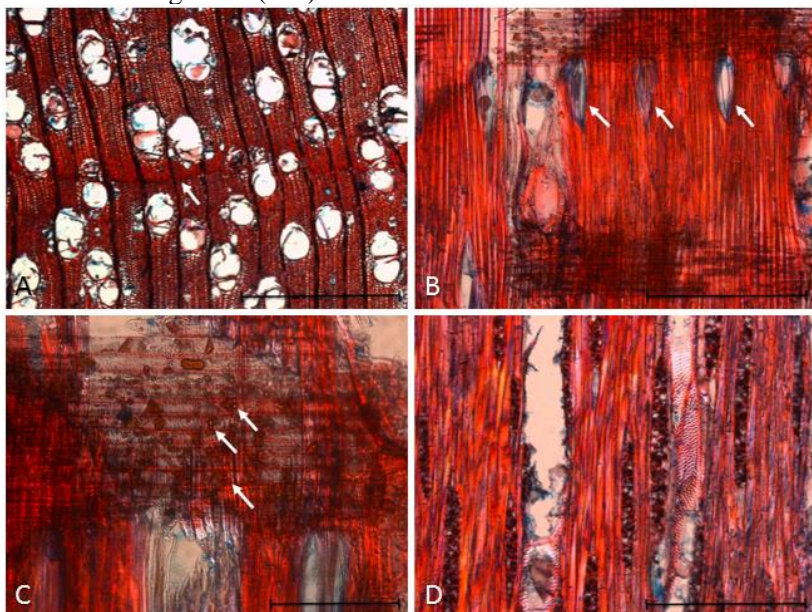
Em que: CV = coeficiente de variação. Fonte: produção do próprio autor.

A estrutura anatômica nos três planos da madeira de canelão é apresentada nas micrografias da Figura 13.

A família *Lauraceae* constitui um dos grupos taxonômicos de maior dificuldade para a caracterização das espécies, que mesmo pertencendo a diferentes gêneros, apresentam uma acentuada uniformidade morfológica (CASTIGLIONI, 1962). Segundo Rohwer et al. (1991), padrões e similaridades anatômicas também têm sido identificados para gêneros, mas a confusão taxonômica de alguns grupos,

especialmente *Ocotea* e *Nectandra* claramente indicados como parafiléticos, reflete-se também na dificuldade em observação de padrões anatômicos nos caracteres da madeira.

Figura 13 - Micrografias dos três planos de observação da madeira de canelão. A – plano transversal (5x); B e C – plano longitudinal radial (10x e 20x, respectivamente); D – plano longitudinal tangencial (10x). Escala: 1 mm.



Flechas na figura A indicam a delimitação do anel de crescimento por uma faixa de fibras mais espessas; na figura B indicam células oleíferas; na figura C indicam conteúdo no interior das células de raio. Fonte: produção do próprio autor.

Santini Júnior (2013) descreveu macro e microscopicamente 90 espécies de madeira comercializadas no Estado de São Paulo, e dentre essas espécies foi observada maior afinidade entre o encontrado para canelão no presente estudo e a descrição do autor para *Nectandra sp.* e *Ocotea sp.* Tal afinidade foi observada em relação às lâminas de mesma denominação da coleção do Laboratório de Anatomia da Madeira da

UFPR. Assim, de forma análoga ao angelim, o canelão também foi identificado em nível de gênero.

4.1.4 Cedro

Identificação: *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke

Família: Fabaceae (Mimosoideae)

Nome comercial: cedro, cedro do Amazonas, cedrorana.

Vasos simples de seção arredondada e múltiplos de seção ovalada; difusos; pouco abundantes (1,8 vasos/mm²); maioria solitários, alguns geminados e múltiplos de 3, 4, 5, 6 e 7 radiais; diâmetro tangencial variável de 125 a 455 µm; placas de perfuração simples; pontoações intervasculares alternas, pequenas (5 – 6,25 µm); conteúdo presente. Raios homogêneos; uni e multisseriados; com altura variando de 63 a 283 µm, altura em número de células de 3 a 15 células; de 4 a 17 raios por mm; pontoações raio vasculares alternas e de tamanho pequeno a médio (5 – 7,5 µm); presença de conteúdo. Parênquima axial vasicêntrico com linhas que tendenciam a aliforme escasso. Fibras de paredes médias não-septadas.

As mensurações dos elementos anatômicos são apresentadas na Tabela 6.

A estrutura anatômica nos três planos da madeira de cedro é apresentada nas micrografias da Figura 14, na qual é possível observar que a maioria dos raios possui células preenchidas (micrografia B) e que alguns vasos podem apresentar conteúdo (micrografia C).

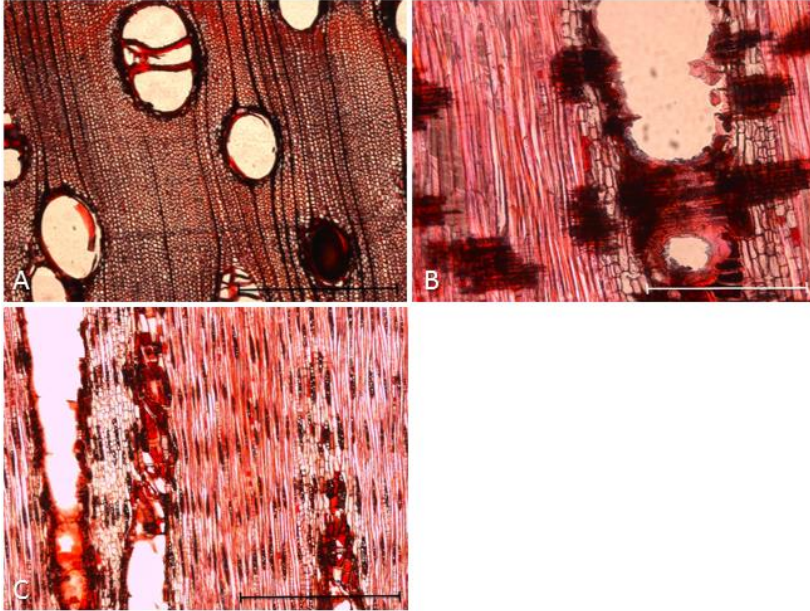
Os resultados do presente estudo para o cedro se assemelham aos encontrados para *Cedrelinga cateniformis* encontrados na literatura (ZUMAETA, 2009; MUÑIZ et al., 2012; SANTINI JÚNIOR, 2013) e às lâminas da coleção do Laboratório de Anatomia da Madeira da UFPR, possibilitando assim a identificação em nível de espécie.

Tabela 6 - Ficha biométrica relativa aos principais elementos anatômicos da madeira de cedro.

Medida	Mínimo	Média	Máximo	CV (%)
Fibra				
Comprimento (μm)	910,0	1318,3	1755,0	19,5
Largura (μm)	20,0	36,3	28,7	15,1
Diâmetro do lume (μm)	12,5	28,8	19,4	19,3
Espessura da parede (μm)	1,9	4,7	6,9	28,8
Vaso				
Diâmetro (μm)	125,0	298,2	455,0	20,8
Frequência (nc/mm ²)	0,5	1,8	3,0	40,9
Raio				
Altura (nc)	3,0	9,8	15,0	33,5
Altura (μm)	62,5	177,4	282,5	30,3
Largura (nc)	1,0	1,6	3,0	34,7
Largura (μm)	12,5	25,4	55,0	39,3
Distribuição (nc/mm)	4,0	11,9	17,0	27,4

Em que: CV = coeficiente de variação. Fonte: produção do próprio autor.

Figura 14 - Micrografias dos três planos de observação da madeira de cedro. A – plano transversal (5x); B – plano longitudinal radial (10x); C – plano longitudinal tangencial (5x). Escala: 1 mm.



Fonte: produção do próprio autor.

4.1.5 Itaúba

Identificação: *Mezilaurus itauba* (Meisn.) Taub. ex Mez.

Família: Lauraceae

Nome comercial: itaúba

Vasos simples de seção arredondada e múltiplos de seção ovalada; difusos; abundância média (5,6 vasos/mm²); solitários e múltiplos de 2, 3, 4 e 5 radiais; diâmetro tangencial variável de 70 a 180 µm; placas de perfuração simples; pontoações intervasculares alternas e grandes (10 – 12,5 µm); células oleíferas adjacentes presentes. Raios heterogêneos (tipo III de Kribs); uni e multisseriados; com altura variando de 120 a 370 µm, altura em número de células de 8 a 28 células; de 3 a 7

raios por mm; pontoações raio vasculares alternas e diminutas (3,5 – 4 μm); conteúdo presente. Parênquima axial paratraqueal vasicêntrico escasso e unilateral em alguns casos. Fibras de paredes espessas não-septadas.

As mensurações dos elementos anatômicos são apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 - Ficha biométrica relativa aos principais elementos anatômicos da madeira de itaúba.

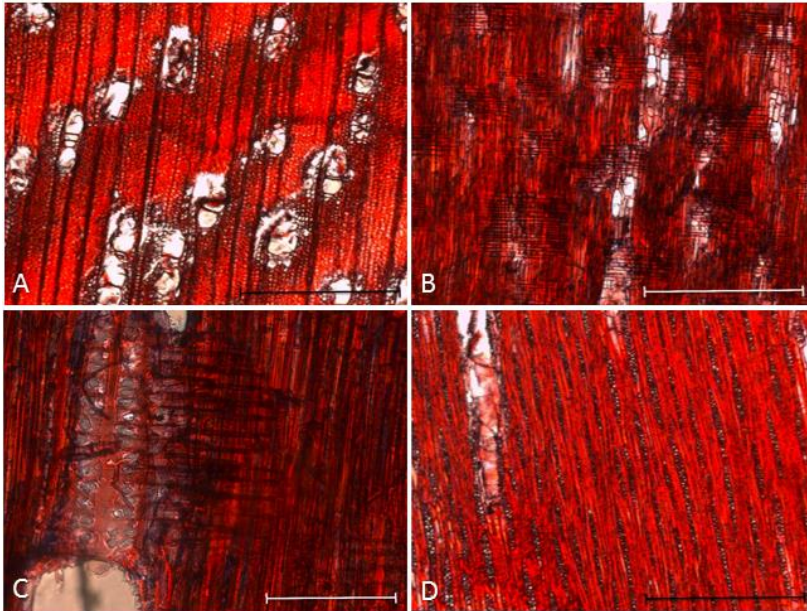
Medida	Mínimo	Média	Máximo	CV (%)
Fibra				
Comprimento (μm)	1030,0	1602,6	2370,0	19,7
Largura (μm)	20,0	35,0	25,9	14,6
Diâmetro do lume (μm)	3,8	16,3	10,0	36,0
Espessura da parede (μm)	4,4	8,0	10,6	18,1
Vaso				
Diâmetro (μm)	70,0	132,8	180,0	17,9
Frequência (nc/mm ²)	2,5	5,6	8,5	26,8
Raio				
Altura (nc)	8,0	16,0	28,0	29,8
Altura (μm)	120,0	190,0	370,0	29,9
Largura (nc)	2,0	2,4	3,0	20,8
Largura (μm)	10,0	17,7	27,5	20,9
Distribuição (nc/mm)	3,0	5,4	7,0	17,8

Em que: CV = coeficiente de variação. Fonte: produção do próprio autor.

A estrutura anatômica nos três planos da madeira de itaúba é apresentada nas micrografias da Figura 15.

A descrição anatômica para itaúba do presente estudo permitiu a identificação da espécie como *Mezilaurus itauba* por meio de comparação com outros estudos (SANTINI JÚNIOR, 2013; MUÑIZ et al., 2012) e com a coleção do Laboratório de Anatomia da Madeira da UFPR.

Figura 15 - Micrografias dos três planos de observação da madeira de itaúba. A – plano transversal (5x); B e C – plano longitudinal radial (5x e 20x, respectivamente); D – plano longitudinal tangencial (5x). Escala: 1 mm.



Fonte: produção do próprio autor.

4.2 MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA

Os valores de massa específica básica de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* encontrados na literatura são apresentados na Tabela 8, bem como a média resultante utilizada neste estudo.

Os resultados obtidos para a massa específica básica da madeira das espécies tropicais utilizadas neste estudo, além do valor obtido por média ponderada para a mistura das espécies tropicais (*mix*) são apresentados na Tabela 9.

Tabela 8 - Valores da literatura para massa específica básica da madeira de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*.

Espécie	Idade (anos)	ME_{bas} (g/cm³)	Localização do plantio	Referência
<i>P. elliottii</i>	7	0,319		
<i>P. elliottii</i>	9	0,326		
<i>P. taeda</i>	6	0,311	Lages (SC)	HIGA <i>et al.</i> (1973)
<i>P. taeda</i>	7	0,331		
<i>P. taeda</i>	13	0,366		
<i>P. elliottii</i>	8	0,389		
<i>P. elliottii</i>	15	0,472	Itapetininga (SP)	PALERMO <i>et al.</i> (2004)
<i>P. elliottii</i>	25	0,481		
<i>P. elliottii</i>	35	0,519		
<i>P. taeda</i>	12	0,383	Telêmaco Borba (PR)	RIGATTO <i>et al.</i> (2004)
<i>P. taeda</i>	5	0,323		
<i>P. taeda</i>	12	0,342	Rio Negrinho (SC)	SETTE JÚNIOR <i>et al.</i> (2004)
<i>P. taeda</i>	18	0,378		
<i>P. taeda</i>	26	0,405		
<i>P. taeda</i>	8	0,376		
<i>P. taeda</i>	9	0,366		
<i>P. taeda</i>	10	0,351	Guarapuava (PR)	XAVIER (2009)
<i>P. taeda</i>	11	0,390		
<i>P. taeda</i>	16	0,384		
<i>P. taeda</i>	17	0,387		
<i>P. elliottii</i>	13	0,460	Quedas do Iguaçu (PR)	MATTOS <i>et al.</i> (2011)
<i>P. taeda</i>	13	0,450		
<i>P. taeda</i>	35	0,450	Sengés (PR)	ZEGARRA (2011)
<i>P. elliottii</i>	9	0,332	Vale do Rio	
<i>P. elliottii</i>	14	0,364	Itajaí (SC)	MELO <i>et al.</i> (2013)
Média geral		0,386		

Em que: ME_{bas} se refere à massa específica básica da madeira. Fonte: produção do próprio autor.

Tabela 9 - Valores médios de massa específica básica da madeira.

Espécie	Média (g/cm³)	CV (%)
Angelim	0,611	6,95
Cambará	0,658	1,70
Canelão	0,613	2,40
Cedro	0,462	2,22
Itaúba	0,708	1,17
Mix	0,610	---

Em que: CV é o coeficiente de variação. Fonte: produção do próprio autor.

Entre as espécies tropicais, o cedro se destaca por apresentar a média numericamente mais próxima do *Pinus spp.* Outro ponto que pode ser destacado em relação ao cedro é o fato de ser a única espécie que apresentou massa específica básica dentro do intervalo ótimo considerado por Hillig (2000) para a produção de painéis de partículas, entre 0,40 e 0,60 g/cm³.

Em estudo de propriedades físicas e mecânicas de madeiras tropicais brasileiras, Araújo (2007) encontrou os valores de massa específica básica para espécies de angelim de 0,60 g/cm³ (*Hymenolobium sp.*), 0,65 g/cm³ (*H. modestum*) e 0,59 g/cm³ (*H. petraeum*). Mainieri e Primo (1964), em estudo sobre madeiras denominadas angelins, encontraram massas específicas de 0,75 g/cm² (*Andira inermis*), 0,80 g/cm³ (*A. anthelminthica*), 0,85 g/cm³ (*A. parviflora*), 0,90 g/cm³ (*A. surinamensis* e *A. retusa*) e de 1,10 g/cm³ (*A. micrantha*). O valor do presente estudo para o angelim se assemelha mais com os resultados do gênero *Hymenolobium* do que com os de *Andira* encontrados na literatura.

Em relação ao cambará, Araújo (2007) encontrou valores de densidade de 0,54 g/cm³ (*Qualea dinizii*), 0,57 g/cm³ (*Q. albiflora*), 0,58 g/cm³ (*Q. lancifolia*) e 0,74 g/cm³ (*Q. brevipedicellata*) e Vale et al. (2001) encontrou valor de 0,685 g/cm³ para *Q. grandiflora*, sendo este último mais próximo do presente resultado para a espécie.

Araújo (2007) encontrou densidades básicas de 0,55 g/cm³ (*Ocotea neesiana* e *Nectandra rubra*) e 0,63 g/cm³ (*Ocotea sp.*), já Cardoso et al. (2012), estudando *N. dioica*, chegou ao valor de 0,54 g/cm³,

sendo a *Ocotea sp.* a espécie relativamente mais próxima do valor encontrado para o canelão no presente estudo.

Para o cedro (*Cedrelina cateniformis*), Frazão (1983) chegou ao valor de 0,43 g/cm³, Gonçalves e Gonçalves (2001) encontraram densidade básica de 0,47 g/cm³ e Araújo (2007) obteve 0,44 g/cm³, valores muito próximos ao deste trabalho.

Quanto à densidade básica da itaúba (*Mezilaurus itauba*), consta no estudo de Araújo (2007) o valor de 0,70 g/cm³, o qual é equivalente ao encontrado neste trabalho, porém discrepante do valor de 0,97 g/cm³ encontrado por Lobão *et al.* (2010) para a mesma espécie.

Segundo Iwakiri (2005), a utilização de madeira de maior massa específica resulta em menor quantidade de madeira para uma mesma massa específica final do painel. Porém, diversos trabalhos têm estudado a utilização de espécies alternativas (NAUMANN *et al.*, 2008; TRIANOSKI, 2010; IWAKIRI *et al.*, 2012b), que por vezes, possuem a massa específica superior ao intervalo recomendado, assim como as demais espécies que compõem o presente estudo.

4.3 PROPRIEDADES FÍSICAS DOS PAINÉIS

Os resultados da análise fatorial realizada para as propriedades físicas dos painéis estão apresentados na tabela 10. Considerando o nível de significância usual de 5%, valores menores de 0,05 apresentam efeito significativo para cada variável estudada, bem como para a interação entre elas.

Assim, foi possível observar que os fatores avaliados (composição, espécie e interação composição*espécie) apresentaram influência sobre todas as variáveis, exceto para o fator composição relativo à massa específica. Nesse caso, a não significância do fator composição pode não ser visualizada com clareza, dada a probabilidade próxima do valor limítrofe considerado.

Os resultados também indicam que houve interação significativa entre espécie e composição, demonstrando que os resultados de cada composição são dependentes diretamente da espécie.

Tabela 10 - Valores de probabilidade dos fatores para os ensaios físicos nos painéis.

Propriedade	Fator		
	Composição (C)	Espécie (E)	Interação C*E
Massa específica	0,068	0,002	0,000
Razão de compactação	0,000	0,000	0,000
Teor de umidade	0,000	0,000	0,002
Absorção de água			
- após 2 horas	0,000	0,000	0,000
- após 24 horas	0,000	0,000	0,000
Inchamento em espessura			
- após 2 horas	0,000	0,000	0,002
- após 24 horas	0,000	0,003	0,000
TNRE	0,000	0,002	0,000

Em que: TNRE é a taxa de não retorno em espessura. Valores de probabilidade menores que 0,05 indicam influência significativa do fator para a variável analisada. Fonte: produção do próprio autor.

Diante dos resultados obtidos, a análise fatorial foi refinada, utilizando o teste de Bonferroni, de forma que fosse possível observar as diferenças de forma mais clara. Esses resultados são apresentados para cada ensaio de forma isolada.

4.3.1 Massa específica dos painéis

Os valores médios da massa específica aparente dos painéis variaram de 0,604 a 0,652 g/cm³ (ver Tabela 11), o que os caracteriza como de média densidade, ou seja, de acordo com o intervalo de 0,60 a 0,80 g/cm³ que preconiza a norma CS 236-66 (COMMERCIAL STANDARD, 1968), no intervalo de 0,551 a 0,750 g/cm³, segundo a NBR 14810 (ABNT, 2013) e a EN 312-2 (EUROPEAN STANDARD, 2003). Porém, de acordo com a norma ANSI A208.1 (2009), apenas os tratamentos 2, 5, 7, 10 e 12 atingiram o intervalo requerido de 0,64 a 0,80 g/cm³. Essa norma cita ainda que a massa específica final dos painéis não pode apresentar diferença maior que 10% da massa específica nominal especificada para a manufatura dos painéis. Todos os valores médios encontrados atenderam essa exigência.

Tabela 11 - Valores médios de massa específica dos painéis.

Tratamento / Espécie		Média (g/cm ³)	CV (%)
Composição Homogênea:			
1	Angelim	0,604 B c	0,68
3	Cambará	0,618 B bc	1,94
5	Canelão	0,643 B a	3,47
7	Cedro	0,641 B ab	0,69
9	Itaúba	0,629 B ab	4,02
11	Mix	0,634 B ab	2,83
Composição Multicamada:			
2	Angelim	0,652 A a	0,58
4	Cambará	0,618 B bc	1,93
6	Canelão	0,627 B abc	2,83
8	Cedro	0,615 B c	1,01
10	Itaúba	0,652 A a	1,69
12	Mix	0,642 B ab	1,16
Testemunha:			
13	<i>Pinus spp.</i>	0,622 B	1,94

Em que: CV é o coeficiente de variação. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente do tratamento testemunha pelo teste de Dunnet a 95% de confiabilidade. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si, na composição, pelo teste de comparação de médias de Bonferroni a 95% de confiabilidade. Fonte: produção do próprio autor.

Foram constatadas diferenças estatísticas interespecíficas, bem como certa distância da densidade nominal, as quais, segundo Iwakiri *et al.* (2012), podem ser atribuídas às condições operacionais em nível laboratorial, sem a automação e controle de precisão do processo industrial, ocasionando perdas de material durante o processo de manufatura dos painéis. Essas perdas podem ter ocorrido inclusive com os aditivos (adesivo e parafina) no momento da aplicação, pela aderência nos instrumentos (HILLIG *et al.*, 2002; DACOSTA *et al.*, 2005; PEDRAZZI *et al.*, 2006; MELO *et al.*, 2009).

Nota-se que os tratamentos compostos unicamente por angelim e cambará obtiveram os menores valores. Entre os painéis multicamada, aqueles produzidos com cambará, canelão e cedro resultaram nos menores valores de massa específica dos painéis.

Não foi observada relação direta entre a massa específica básica da madeira e a massa específica dos painéis, em que painéis de cedro (menor massa específica básica da madeira) não necessariamente apresentaram os maiores valores de massa específica, bem como não apresentaram as menores massas específicas os painéis de itaúba (maior massa específica da madeira).

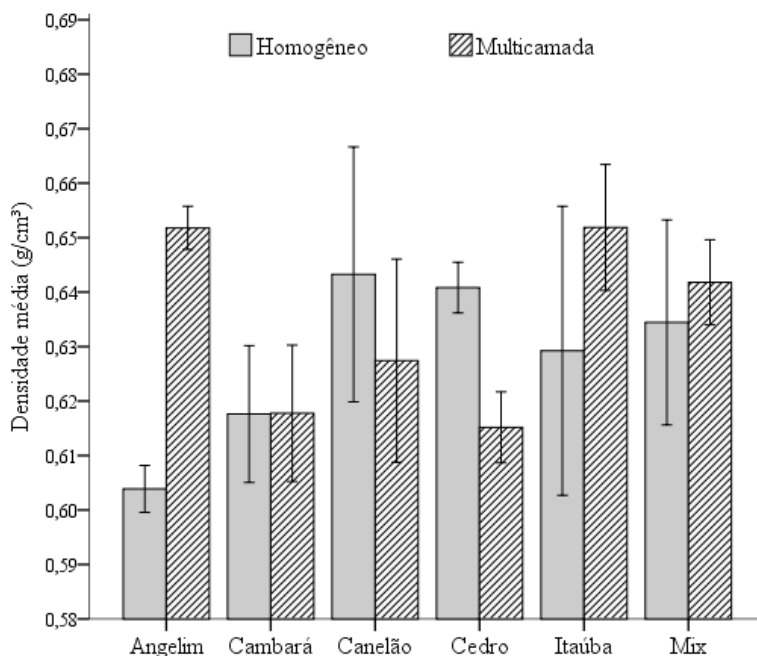
Em estudo avaliando a estabilidade dimensional de painéis flakeboard produzidos com madeira de *P. elliotii*, *Eucalyptus grandis* e *Acacia mearnsii*, Hillig et al. (2004) observaram correlação entre a massa específica básica da madeira e a massa específica dos painéis ($\rho = 0,80$). Assim como na pesquisa de Pierre (2010), na qual foi testada a adição de resíduos na produção de painéis particulados de *E. grandis*. Neste estudo os painéis compostos unicamente por partículas de *E. grandis* (testemunha do estudo) obtiveram valor de massa específica maior que os painéis com adição de resíduos. Cabe notar que os resíduos apresentaram menores valores de massa específica aparente ($ME_{AP} = 180$ a 240 kg/m^3) que a madeira de eucalipto utilizada ($ME_{AP} = 541 \text{ kg/m}^3$). Dessa forma, a autora observou relação entre a massa específica da madeira e dos painéis.

Schneid (2010), avaliando o efeito da geometria das partículas e do teor de adesivo nas propriedades físico-mecânicas de painéis particulados de *P. taeda*, observou que a granulometria das partículas influenciou a massa específica dos painéis, na qual a maior granulometria apresentou massa específica média de $0,59 \text{ g/cm}^3$ e a menor fração apresentou o valor médio de $0,90 \text{ g/cm}^3$, para uma massa específica nominal de $0,80 \text{ g/cm}^3$.

Quanto à comparação com o *Pinus spp.*, todos os tratamentos se apresentaram semelhantes, exceto os tratamentos 2 e 10 (multicamada de angelim e itaúba), os quais foram estatisticamente maiores que a testemunha, e também os únicos que atingiram a densidade nominal estipulada de $0,65 \text{ g/cm}^3$.

Observa-se na figura 16 que a composição dos painéis, homogênea e multicamada, foi estatisticamente significativa para os painéis compostos pelo angelim e pelo cedro, com destaque para a diferença apresentada na primeira espécie.

Figura 16 - Valores médios de densidade por espécie e composição.



Em que: barras de erro indicam o intervalo de confiança a 95% de probabilidade. Fonte: produção do próprio autor.

Na pesquisa realizada por Cabral et al. (2007) em painéis produzidos com partículas geradas de maravalhas e flocos de *Eucalyptus grandis*, *E. urophylla* e *E. cloeziana*, com eventual adição de partículas de *Pinus elliottii*, não houve diferença significativa entre as massas específicas dos painéis, obtendo-se uma média geral de 700 kg/m³. Portanto, a combinação da madeira de *Pinus elliottii* com a madeira de eucalipto foi eficiente na homogeneização da massa específica dos painéis.

No presente estudo a homogeneização da massa específica dos painéis não foi observada de forma clara, indicando as diferenças decorrentes do processo manual de deposição das partículas no momento da formação do colchão.

4.3.2 Razão de compactação

O teste *post-hoc* de Bonferroni resultou na classificação apresentada na Tabela 12, a qual destaca os tratamentos compostos pela espécie cedro como os melhores. Tal comportamento é previsível, uma vez que a densidade básica da madeira desta espécie é a mais baixa (0,462 g/cm³) e a que mais se aproxima do *Pinus spp.* (0,386 g/cm³).

Tabela 12 - Valores médios de razão de compactação.

Tratamento / Espécie		Média	CV (%)
Composição Homogêneo:			
1	Angelim	1,00 B bc	1,62
3	Cambará	0,98 B c	3,47
5	Canelão	1,03 B bc	4,02
7	Cedro	1,40 B a	3,56
9	Itaúba	0,89 B d	2,83
11	Mix	1,05 B b	4,32
Composição Multicamada:			
2	Angelim	1,32 B b	4,15
4	Cambará	1,30 B b	1,38
6	Canelão	1,33 B b	2,83
8	Cedro	1,48 B a	1,93
10	Itaúba	1,20 B c	1,01
12	Mix	1,33 B b	2,98
Testemunha:			
13	<i>Pinus spp.</i>	1,57 A	1,81

Em que: CV é o coeficiente de variação. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente do tratamento testemunha pelo teste de Dunnett a 95% de confiabilidade. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si, na composição, pelo teste de comparação de médias de Bonferroni a 95% de confiabilidade. Fonte: produção do próprio autor.

Observa-se que apesar do cedro apresentar resultados estatisticamente superiores, todas as espécies (exceto a itaúba) apresentaram valores de razão de compactação dentro do intervalo recomendado por Moslemi (1974) e por Maloney (1993), entre 1,3 e 1,6, no que tange aos painéis multicamada.

Em contrapartida, os painéis homogêneos apresentaram valores inferiores a 1,3 para todas as espécies, exceto para o cedro. Moslemi (1974), Maloney (1993) e Tsoumis (1993) citam que os valores baixos de razão de compactação devem sempre ser levados em consideração, de forma que não se pode garantir uma área de contato satisfatória entre as partículas e densificação suficiente para a formação de um painel com qualidade.

Como alternativa para aumentar a densificação dos painéis, Moslemi (1974) cita que a razão de compactação pode ser modificada aumentando-se a massa específica do painel. Nesse caso, Marra (1992) recomenda o uso de maior quantidade de resina, tendo em vista a maior área superficial das partículas.

Guimarães Júnior (2008), em estudo sobre painéis compostos de três espécies de eucalipto, observou a existência de relação direta entre a massa específica do painel e a razão de compactação. Essa observação também é relatada por Iwakiri *et al.* (2012), estudando painéis particulados produzidos com espécies tropicais. Porém, essa relação não foi observada neste estudo.

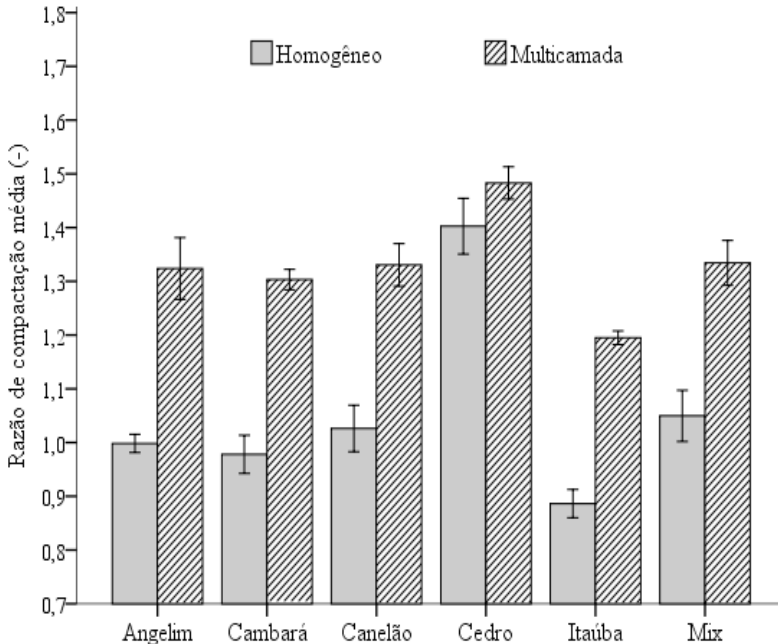
Porém, a relação inversamente proporcional entre massa específica da madeira e a razão de compactação observada por Hillig *et al.* (2004), também pode ser observada neste estudo, uma vez que as espécies de menor massa específica básica apresentaram os maiores valores de razão de compactação. Este mesmo comportamento também foi observado entre os painéis homogêneos e multicamadas, pois o segundo tipo apresentou maiores valores de densificação, uma vez que incorporado o *Pinus spp.* sua massa específica básica média diminui.

Na comparação com a testemunha, todos os tratamentos foram estatisticamente diferentes e inferiores. Este comportamento era esperado, uma vez que o *Pinus spp.* é a espécie que possui a menor massa específica básica. Porém, o valor de razão de compactação dos painéis de *Pinus spp.* foi muito elevado, o que não descredencia os demais tratamentos que atingiram valores acima de 1,3.

Na figura 17 destaca-se a composição multicamada, cujos painéis apresentaram resultados estatisticamente superiores aos homogêneos para todas espécies, exceto para o cedro. Esta espécie obteve destaque perante

as demais, uma vez que foi significativamente superior nas duas composições.

Figura 17 - Valores médios de razão de compactação por espécie e composição.



Em que: barras de erro indicam o intervalo de confiança a 95% de probabilidade. Fonte: produção do próprio autor.

O comportamento do cedro pode ser atribuído à menor massa específica da madeira desta espécie. O aumento da quantidade de partículas contribui para a maior densificação do painel, o que segundo Trianoski (2010) propicia a diminuição de espaços vazios no painel, aumentando o contato entre as partículas, tendendo a proporcionar maior resistência mecânica.

4.3.3 Teor de umidade

A tabela 13 apresenta os valores encontrados para teor de umidade, na qual observa-se que os resultados variaram de 7,59 a 9,64%

e que os tratamentos compostos por angelim e *mix*, nas duas composições, foram os que apresentaram a menor higroscopicidade. Por outro lado, cambará e cedro, apresentaram os maiores teores de umidade. O *Pinus spp.*, por sua vez, apresentou valor de umidade superior a todos os tratamentos.

Observa-se que todos os tratamentos atenderam ao intervalo entre 5 e 11% estipulado pela NBR 14810 (ABNT, 2013).

Tabela 13 - Valores médios de teor de umidade.

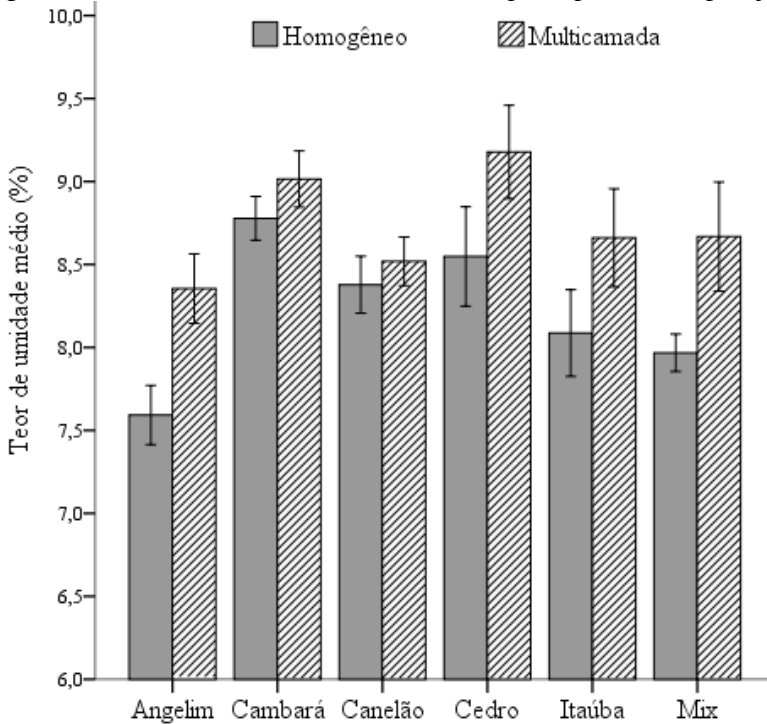
Tratamento / Espécie		Média (%)	CV (%)
Composição Homogêneo:			
1	Angelim	7,59 A a	2,24
3	Cambará	8,78 A e	1,43
5	Canelão	8,38 A cd	1,95
7	Cedro	8,55 A de	3,34
9	Itaúba	8,09 A bc	3,07
11	<i>Mix</i>	7,97 A ab	1,35
Composição Multicamada:			
2	Angelim	8,35 A a	2,38
4	Cambará	9,01 A bc	1,79
6	Canelão	8,52 A a	1,64
8	Cedro	9,18 A c	2,93
10	Itaúba	8,66 A ab	3,25
12	<i>Mix</i>	8,67 A ab	3,61
Testemunha:			
13	<i>Pinus spp.</i>	9,64 B	4,00

Em que: CV é o coeficiente de variação. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente do tratamento testemunha pelo teste de Dunnet a 95% de confiabilidade. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si, na composição, pelo teste de comparação de médias de Bonferroni a 95% de confiabilidade. Fonte: produção do próprio autor.

Pode-se observar certa relação entre o teor de umidade e a massa específica básica da madeira, uma vez que os painéis compostos por *Pinus spp.* apresentaram maiores teores do que aqueles sem a incorporação da espécie. Isso ocorre pois a maior quantidade de partículas nos painéis compostos por espécies de menor massa específica básica propicia maior higroscopicidade aos painéis.

Todos os tratamentos apresentaram um padrão de variação semelhante (ver Figura 18). Essa baixa variabilidade proporciona uma maior confiabilidade nos demais resultados obtidos, já que a umidade do painel pode interferir significativamente em suas propriedades (MELO et al., 2009).

Figura 18 - Valores médios de teor de umidade por espécie e composição.



Em que: barras de erro indicam o intervalo de confiança a 95% de probabilidade. Fonte: produção do próprio autor.

Observa-se que todos os tratamentos apresentaram valores inferiores ao teor de umidade de equilíbrio da madeira sólida, que seria de 12% nas mesmas condições de climatização. Segundo Wu (1999), esta redução de higroscopicidade justifica-se pelo processamento da madeira em partículas, adição de resina e aditivos e aplicação de pressão e alta temperatura durante o ciclo de prensagem.

Poucos trabalhos analisam o teor de umidade de equilíbrio em painéis multicamada. Dentre os estudos encontrados na literatura, cita-se o de Sanches (2012), no qual avalia a qualidade de painéis particulados produzidos com mistura de madeira de quatro espécies florestais. O autor observou valores próximos ao deste estudo, entre 6,55 e 8,29%. Trianoski (2010), em seu estudo sobre avaliação do potencial de espécies florestais alternativas de rápido crescimento para produção de painéis de madeira aglomerada, encontrou para painéis multicamadas valores superiores (9,65 a 10,42%) aos obtidos neste trabalho para os tratamentos de mesma composição.

Por outro lado, pode-se citar diversos trabalhos que comprovem menores valores de umidade de equilíbrio em painéis de madeira homogêneos em relação à madeira serrada. Alguns deles apresentaram resultados ligeiramente superiores aos deste estudo, entre eles o de Vital *et al.* (2004), que encontrou umidade de 9,35 a 10,0% para colagem de painéis com ureia-formaldeído. Cabral *et al.* (2007) encontraram valores de 9,62 a 9,94% para painéis de partículas aglomeradas produzidos com *Eucalyptus spp.* e *Pinus elliottii*. Já Carneiro *et al.* (2009) pesquisando sobre propriedades de chapas de aglomerado fabricadas com adesivo tânico de angico-vermelho, encontrou valores superiores que variaram de 9,10% para painéis colados com ureia-formaldeído a 10,23% para painéis colados com o adesivo tânico. O estudo de Naumann *et al.* (2008) obteve valores de 9,7 a 11,8% para painéis particulados produzidos com *Eucalyptus urophylla* e *Schizolobium amazonicum*.

Em contrapartida, alguns estudos obtiveram valores mais próximos aos encontrados no presente trabalho para painéis homogêneos. Nesse sentido, pode-se mencionar o trabalho de Hillig *et al.* (2004), no qual os autores observaram valores entre 3,74 a 8,78% para painéis *flakeboards* de *Pinus elliottii*, *Eucalyptus grandis* e *Acacia mearnsii*. Weber (2011), estudando a viabilidade do uso de resíduos de compensados, MDF e MDP para a produção de painéis particulados, obteve valores próximos aos deste estudo, variando de 7,34 a 8,96%. Melo *et al.* (2009) produziu painéis particulados de *Eucalyptus grandis* e casca de arroz, no qual observou valores de teor de umidade entre 8,29 e

8,49% para painéis colados com ureia-formaldeído e entre 8,37 e 8,64% para aqueles colados com tanino-formaldeído.

Weber (2011) atribui a variação de teor de umidade ao fato do material ter passado por aquecimento na fabricação inicial (secagem de partículas) e posteriormente ter sido submetido a altas temperaturas na prensagem, fazendo com que as estruturas anatômicas da madeira sejam danificadas, causando perda de água de constituição.

4.3.4 Absorção de água

As médias do ensaio de absorção de água após 2 e 24 horas estão apresentadas na tabela 14, na qual é possível observar que os resultados variaram de 19,89 a 41,90% após o primeiro ciclo de imersão (2 horas) e de 27,86 a 45,47% após o segundo (24 horas).

Entre os painéis homogêneos, os menores valores apresentados correspondem ao angelim, cambará e *mix* para 2 horas de imersão, e apenas angelim e cambará após 24 horas de imersão. Por outro lado, pode-se dizer que o cedro foi a espécie mais absorveu água, evidenciando a contribuição do fator espécie nessa composição.

Entre os painéis multicamada foi observada uma maior absorção de água pelos painéis compostos por cedro após 2 horas de imersão. Após 24 horas, foi observada uma uniformidade dos resultados devido à presença do *Pinus* em todos os tratamentos. Isto faz com que após um período maior de imersão os painéis apresentem valores próximos de absorção de água.

Observa-se que o tratamento *mix* demonstrou valores intermediários. Isto se deve, segundo Trianoski (2010) ao balanceamento das características apresentadas por todas as espécies.

O comportamento apresentado pelo cedro pode ser explicado pela razão de compactação, que foi maior que a dos demais painéis compostos por espécies tropicais. Segundo Iwakiri (2005), isso indica que as características físicas dos painéis dessa espécie tendem a ser depreciadas, pois existe maior quantidade de partículas sob compressão e, quando expostas à umidade, essas forças são liberadas, causando maiores alterações dimensionais.

Porém, esse comportamento não foi observado para o *Pinus spp.* de forma isolada, que obteve a maior densificação e apresentou valores muito menores que o cedro para absorção de água.

Trianoski (2010) observou que o menor índice de absorção apresentado pelo *Pinus taeda* se correlaciona com a área superficial

específica, onde esta espécie proporcionou uma das menores áreas superficial e uma das maiores disponibilidades de resina, restringindo este fenômeno. Porém, no presente estudo a área superficial específica não foi avaliada, impedindo o estabelecimento desta relação.

Tabela 14 - Valores médios de absorção de água.

Tratamento / Espécie	Após 2 horas			Após 24 horas		
	Média (%)	CV		Média (%)	CV	
Composição Homogêneo:						
1 Angelim	19,89	A a	22,87	29,99	A ab	25,82
3 Cambará	22,29	A ab	30,94	27,86	A a	41,32
5 Canelão	29,21	A c	11,69	36,36	A bc	7,71
7 Cedro	40,49	B d	4,06	42,64	B c	3,56
9 Itaúba	26,61	A bc	10,10	41,17	B c	3,68
11 <i>Mix</i>	25,60	A abc	4,01	41,54	B c	5,89
Composição Multicamada:						
2 Angelim	28,06	A a	30,00	41,81	B a	16,22
4 Cambará	31,22	B ab	6,47	45,47	B a	3,16
6 Canelão	35,23	B b	33,54	43,54	B a	4,62
8 Cedro	41,90	B c	10,50	45,02	B a	8,58
10 Itaúba	31,77	B ab	2,25	44,55	B a	13,56
12 <i>Mix</i>	31,15	B ab	2,78	44,01	B a	4,67
Testemunha:						
13 <i>Pinus spp.</i>	24,18	A	17,41	43,44	B	7,37

Em que: CV é o coeficiente de variação, em porcentagem. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente do tratamento testemunha pelo teste de Dunnett a 95% de confiabilidade. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si, na composição, pelo teste de comparação de médias de Bonferroni a 95% de confiabilidade. Fonte: produção do próprio autor.

Da mesma forma, entre os valores inferiores também não foi observada relação clara entre a densificação do painel e o seu desempenho higroscópico, uma vez que os painéis de itaúba apresentaram resultados

estatisticamente inferiores para razão de compactação, porém não foi a espécie que absorveu menos água.

Nota-se ainda os valores menores apresentados pelos tratamentos homogêneos de angelim e cambará. Este comportamento, segundo Trianoski (2010), pode estar atrelado a diversas variáveis, como a espécie, área superficial específica, a disponibilidade de resina, e muito provavelmente por outras relacionadas à composição química, mais especificamente ao tipo de extrativos. Nesse sentido, estudos mais detalhados com as espécies, seriam necessários para avaliar com precisão o comportamento dos painéis frente a estes fatores.

Quanto à comparação com a testemunha, os tratamentos multicamada de todas as espécies, exceto o angelim, e o tratamento homogêneo de cedro foram estatisticamente diferentes do *Pinus spp.*, apresentando maior absorção de água que a testemunha, após 2 horas. Após 24 horas, a testemunha diferiu apenas dos tratamentos homogêneos de angelim, cambará e canelão. Cabe destacar essas espécies, pois apresentaram médias de absorção após 24 horas menores que a testemunha, demonstrando melhores resultados do que o *Pinus spp.*

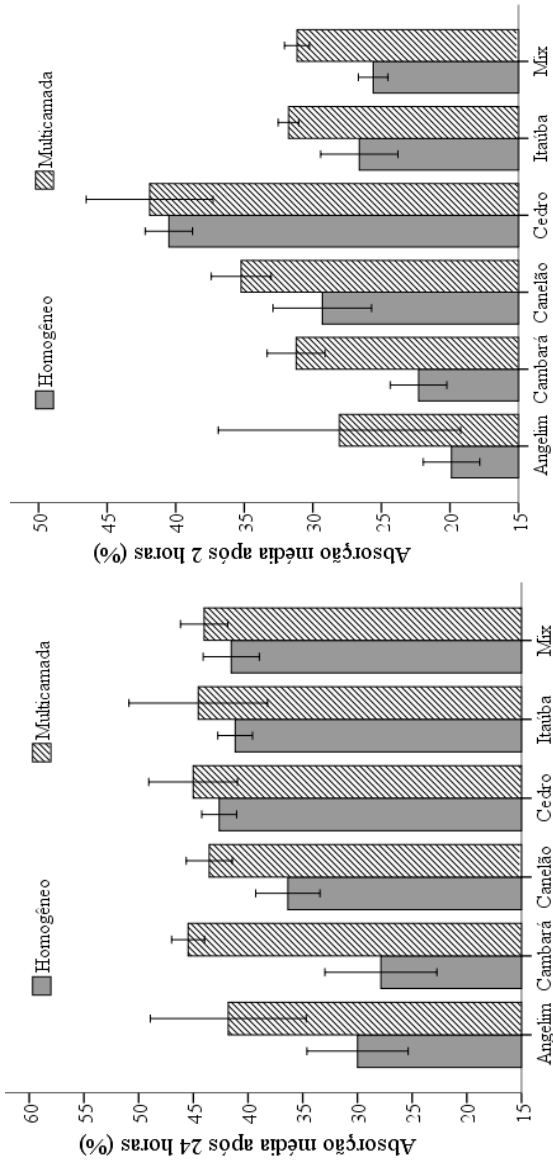
Cabe ressaltar que o aumento esperado na absorção de água dos painéis homogêneos para os multicamadas, ocorreu para todas as espécies (ver Figura 19).

O comportamento apresentado na figura 19 indica que a incorporação de *Pinus spp.* nos painéis multicamada foi responsável pelo aumento da absorção de água. Isso ocorre pois a camada de *Pinus*, que representa 60% do peso do painel, é composta por uma maior quantidade de partículas e, conseqüentemente, apresentam maior liberação das tensões de compressão durante o período de imersão.

A tabela de propriedades físicas e mecânicas editada pelo *Forest Products Laboratory* (1987) especifica, para painéis de média massa específica, valores entre 5 e 50% para absorção de água após 24 horas. Assim, todos os tratamentos atenderam a este requisito.

Porém, a norma CSA 0437 (CSA, 1993) preconiza os valores máximos de 10 e 15% para a propriedade de absorção de água após 2 e 24 horas. Com base nesta norma, nenhum tratamento atendeu às exigências. Observa-se que a norma canadense é rigorosa, uma vez que muitos dos resultados encontrados na literatura também não atendem à norma, principalmente após 24 horas (ver Tabela 15).

Figura 19 - Valores de absorção de água por espécie e composição.



Em que: barras de erro indicam o intervalo de confiança a 95% de probabilidade. Fonte: produção do próprio autor.

Tabela 15 - Valores da literatura para absorção de água.

Composição	2h	24h	Referência
Homogêneo			
<i>Ocotea sp.**</i>	6,8	18,4	Iwakiri <i>et al.</i> (2012b)
<i>Copaifera multijuga**</i>	17,6	43,4	Iwakiri <i>et al.</i> (2012b)
<i>Melia azedarach</i>	9,9	32,1	Trianoski (2010)
<i>Schizolobium parahyba</i>	31,2	68,7	Trianoski (2010)
<i>Grevillea robusta</i>	5,8	42,9	Iwakiri <i>et al.</i> (2004)
<i>Acacia mangium</i>	27,2	63,9	Guimarães Jr <i>et al.</i> (2013)
<i>Acrocarpus fraxinifolius</i>	26,7	64,1	Trianoski <i>et al.</i> (2011)
<i>Eucalyptus grandis</i>	13,9	37,4	Iwakiri <i>et al.</i> (2000)
<i>Eucalyptus maculata</i>	27,9	50,1	Iwakiri <i>et al.</i> (2000)
<i>Pinus taeda</i>	7,9	27,8	Trianoski (2010)
<i>Pinus taeda</i>	7,4	20,6	Trianoski <i>et al.</i> (2011)
<i>Pinus oocarpa</i>	32,7	63,4	Guimarães Jr <i>et al.</i> (2013)
<i>Pinus spp.**</i>	3,9	10,5	Weber (2011)
Multicamada			
<i>Acrocarpus fraxinifolius*</i>	13,9	36,8	Trianoski (2010)
<i>Melia azedarach*</i>	11,3	28,9	Trianoski (2010)
<i>Grevillea robusta*</i>	9,6	36,6	Trianoski (2010)
<i>Schizolobium parahyba*</i>	15,3	36,4	Trianoski (2010)
<i>Toona ciliata*</i>	9,3	27,2	Trianoski (2010)
<i>Mimosa scabrella*</i>	7,0	20,4	Sanches (2012)
<i>Hovenia dulcis*</i>	6,2	15,3	Sanches (2012)

Em que: 2h e 24h se referem à absorção após 2 e 24 horas, em porcentagem. *Painéis produzidos com camada interna de *P. taeda* e camadas externas com a espécie mencionada na proporção de 20:60:20. **Painéis produzidos a partir de resíduos. Fonte: produção do próprio autor.

Outros autores também produziram painéis utilizando espécies do gênero *Pinus*, os quais apresentaram valores menores que os resultados do presente estudo para *Pinus taeda* (TRIANOSKI, 2010; TRIANOSKI

et al., 2011), porém valores mais próximos foram encontrados por Guimarães Júnior et al. (2013) para *P. oocarpa*.

Entre os tratamentos homogêneos, os painéis produzidos com angelim e cambará se aproximaram dos valores encontrados por Trianoski (2010) para painéis de *M. azedarach* em imersão por 2 horas. Já os painéis de itaúba, canelão e mix se assemelham aos resultados de Iwakiri et al. (2000), Trianoski et al. (2011) e Guimarães Júnior et al. (2013), para *E. maculata*, *A. fraxinifolius* e *A. mangium*, respectivamente.

Os tratamentos multicamada apresentaram valores acima dos encontrados por Trianoski (2010) e Sanches (2012).

Trianoski (2010) observou que a composição da camada externa, ou seja, a espécie utilizada nesta camada, pode melhorar a propriedade de absorção de água. A autora notou que os painéis produzidos por camada externa de *P. taeda* e interna de espécies alternativas apresentou melhores resultados que os painéis nos quais o pinus formava a camada interna, ressaltando que o *P. taeda* atuou como elemento restritivo à absorção da água.

Isto posto, painéis multicamadas, nos quais as camadas externas fossem compostas de partículas de *Pinus spp.* poderiam proporcionar a diminuição da taxa de absorção de água, melhorando a qualidade física dos painéis.

As propriedades físicas dos painéis também poderiam ser melhoradas utilizando partículas de menores dimensões, aumentando assim a área superficial de colagem e a ligação entre as partículas, de forma a impedir ou retardar a entrada de água no painel.

4.3.5 Inchamento em espessura

Os resultados obtidos para inchamento em espessura variaram entre 3,57 e 14,78% após 2 horas de imersão em água e entre 7,48 e 27,31% após 24 horas (ver Tabela 16).

Pode-se observar, entre os painéis homogêneos, que após 2 horas de imersão os painéis de cedro, estatisticamente semelhantes ao canelão e *mix*, apresentaram os maiores valores de inchamento em espessura. Após 24 horas de imersão os painéis homogêneos apresentaram médias semelhantes.

Entre os painéis multicamada os painéis de cambará e canelão apresentaram as menores médias, estatisticamente diferentes do cedro, para o ciclo de 2 horas de imersão. Após o ciclo de 24 horas, a espécie

itaúba se destacou negativamente, uma vez que apresentou o maior valor de inchamento.

Tabela 16 – Valores médios de inchamento em espessura.

Tratamento / Espécie	Após 2 horas		Após 24 horas	
	Média (%)	CV	Média (%)	CV
Composição Homogênea:				
1 Angelim	3,57 A a	15,58	8,17 A a	12,20
3 Cambará	4,28 A a	21,44	10,48 A a	14,41
5 Canelão	6,74 A ab	15,27	10,59 A a	11,87
7 Cedro	10,11 B b	20,69	10,89 A a	23,51
9 Itaúba	4,82 A a	29,38	7,48 A a	9,90
11 <i>Mix</i>	7,33 A ab	23,38	11,59 A a	10,04
Composição Multicamada:				
2 Angelim	13,22 B ab	16,58	15,80 B a	32,18
4 Cambará	9,94 B a	11,59	22,75 B a	10,97
6 Canelão	9,58 B a	44,09	21,34 B a	13,51
8 Cedro	14,78 B b	24,57	18,05 B a	28,45
10 Itaúba	14,03 B ab	16,41	27,31 A b	29,37
12 <i>Mix</i>	10,89 B ab	5,41	18,75 B a	20,28
Testemunha:				
13 <i>Pinus spp.</i>	13,30 B	4,57	23,78 B	6,70

Em que: CV é o coeficiente de variação, em porcentagem. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente do tratamento testemunha pelo teste de Dunnet a 95% de confiabilidade. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si, na composição, pelo teste de comparação de médias de Bonferroni a 95% de confiabilidade. Fonte: produção do próprio autor.

No caso do cedro, a maior quantidade de material lenhoso e, conseqüentemente a maior razão de compactação, propiciou uma maior liberação das tensões de compressão, apresentando o valor de inchamento em espessura mais alto. Já os painéis homogêneos *mix* apresentaram valores intermediários, sendo estatisticamente iguais aos demais

tratamentos. Este comportamento, como mencionado anteriormente, se deve ao fato de que a mistura equilibra as características das espécies.

Todos os painéis produzidos na composição homogênea apresentaram valores de inchamento em espessura menores que os multicamada.

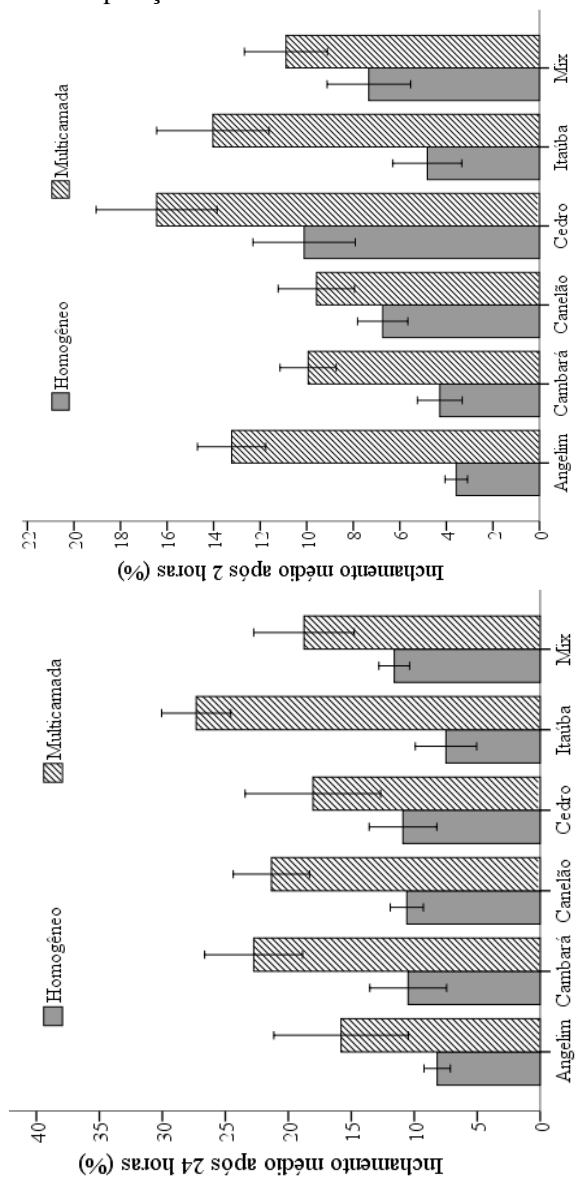
Observa-se na Figura 20 que, assim como para a variável absorção de água, o inchamento em espessura também apresentou a tendência à homogeneização dos resultados com o aumento da duração do teste, ou seja, a capacidade dos painéis expandirem em espessura tende a estabilizar, para os painéis multicamada por volta de 15 a 22% (exceto para itaúba) e para os homogêneos em cerca de 8 a 12%.

Este comportamento ocorreu devido a proporção de *Pinus spp.* presente nos painéis multicamada. Este fato, assim como para os painéis de cedro entre os homogêneos, está atrelado à espécie, mais precisamente à massa específica da madeira. A baixa massa específica básica do *Pinus spp.* propicia maior quantidade de partículas na formação do colchão, que por serem produzidos com a mesma pressão que os painéis produzidos com menos partículas, acabam gerando painéis mais comprimidos. A maior tensão de compressão existente nesses painéis é liberada quando submetidos à imersão, o que ocasiona maior inchamento em espessura (MOSLEMI, 1974; KELLY, 1977).

Cabe ressaltar ainda que a maior variação da espessura após os ciclos de imersão pode estar associada às características das partículas, que devido ao menor comprimento e a maior espessura, apresentam durante a formação do painel maior proporção de partículas posicionadas verticalmente, o que segundo Moslemi (1974), contribui para maior instabilidade dimensional.

Em relação à testemunha, entre os painéis homogêneos, apenas aqueles compostos de cedro foram semelhantes ao *Pinus spp.*, considerando o ciclo de 2 horas de imersão. Após 24 horas, todos os tratamentos homogêneos diferiram do tratamento controle. Ressalta-se que os tratamentos que apresentaram diferença comparados à testemunha, apresentaram resultados melhores, ou seja, valores médios menores para inchamento. Por outro lado, entre os tratamentos multicamada, apenas a itaúba diferiu da testemunha após 24 horas de imersão, pois apresentou valor maior, obtendo assim o pior desempenho neste teste. No ciclo mais curto todos os tratamentos foram semelhantes ao *Pinus spp.*

Figura 20 - Valores de inchamento em espessura por espécie e composição.



Em que: barras de erro indicam o intervalo de confiança a 95% de probabilidade. Fonte: produção do próprio autor.

Os tratamentos multicamadas cedro e itaúba apresentaram semelhança estatística com a testemunha. Nota-se que a massa específica da madeira de cedro é a que mais se assemelha com a do *Pinus spp.*, apresentando também a instabilidade dimensional dos painéis na mesma proporção da testemunha após 2 horas. Em relação à itaúba, observa-se que o uso desta espécie com o *Pinus spp.* diminuiu o desempenho físico dos painéis, uma vez que os resultados são significativamente melhores quando a espécie é utilizada na composição homogênea.

As espécies que apresentaram valores médios maiores para a composição multicamada foram o angelim, cedro, itaúba e *mix* após 2 horas e apenas a itaúba após 24 horas. Os valores são próximos dos resultados encontrados por Trianoski (2010) para painéis multicamadas após 2 horas. Os resultados obtidos após 24 horas, exceto para itaúba, também são próximos dos obtidos por Trianoski (2010) e um pouco acima dos resultados encontrados por Sanches (2012).

Os tratamentos homogêneos apresentaram valores próximos aos encontrados por Iwakiri et al. (2004), Trianoski et al. (2011), Iwakiri et al. (2012b) e Guimarães Júnior et al. (2013), e menores que os encontrados por Trianoski (2010), conforme Tabela 17.

Segundo a NBR 14810 (2013), o inchamento máximo não deve ser superior à 8% após 2 horas. Considerando estes valores limítrofes, entre os tratamentos homogêneos apenas o cedro não atendeu à norma. Já entre os tratamentos multicamadas nenhum atendeu a este requisito.

Quanto ao atendimento das normas internacionais, todos os tratamentos obtiveram desempenho satisfatório frente às normas CS 236-66 (COMMERCIAL STANDARD, 1968) e ANSI A208.1 (2009), que preconizam os valores de inchamento médio máximo de 35% e 40%, respectivamente, para painéis de média densidade. Porém, apenas os tratamentos pertencentes à composição homogênea atenderam à norma EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003), que estabelece o valor máximo de 15% para inchamento após 24 horas.

Tabela 17 - Valores da literatura para inchamento em espessura.

Composição	2h	24h	Referência
Homogêneo			
<i>Ocotea sp.**</i>	4,0	11,0	Iwakiri et al. (2012b)
<i>Copaifera multijuga**</i>	8,5	18,3	Iwakiri et al. (2012b)
<i>Scleronema sp.**</i>	8,4	20,4	Iwakiri et al. (2012b)
<i>Melia azedarach</i>	12,4	17,8	Trianoski (2010)
<i>Schizolobium parahyba</i>	17,1	29,8	Trianoski (2010)
<i>Toona ciliata</i>	12,1	16,8	Trianoski (2010)
<i>Grevillea robusta</i>	8,6	17,7	Iwakiri et al. (2004)
<i>Acacia mangium</i>	9,9	19,8	Guimarães Jr. et al. (2013)
<i>Acrocarpus fraxinifolius</i>	6,6	18,8	Trianoski et al. (2011)
<i>Eucalyptus grandis</i>	12,4	24,2	Iwakiri et al. (2000)
<i>Eucalyptus maculata</i>	21,2	32,2	Iwakiri et al. (2000)
<i>Pinus taeda</i>	13,0	18,6	Trianoski (2010)
<i>Pinus taeda</i>	3,6	8,5	Trianoski et al. (2011)
<i>Pinus oocarpa</i>	18,4	39,5	Guimarães Jr. et al. (2013)
<i>Pinus spp.**</i>	9,8	25,1	Weber (2011)
Multicamada			
<i>Acrocarpus fraxinifolius*</i>	14,5	21,5	Trianoski (2010)
<i>Melia azedarach*</i>	13,1	17,4	Trianoski (2010)
<i>Grevillea robusta*</i>	13,2	22,2	Trianoski (2010)
<i>Schizolobium parahyba*</i>	14,9	20,8	Trianoski (2010)
<i>Toona ciliata*</i>	12,9	16,4	Trianoski (2010)
<i>Mimosa scabrella*</i>	6,3	15,3	Sanches (2012)
<i>Hovenia dulcis*</i>	3,5	13,1	Sanches (2012)

Em que: 2h e 24h se referem ao inchamento após 2 e 24 horas, em porcentagem. *Painéis produzidos com camada interna de *P. taeda* e camadas externas com a espécie mencionada na proporção de 20:60:20. **Painéis produzidos a partir de resíduos. Fonte: produção do próprio autor.

4.3.6 Taxa de não retorno em espessura

Os resultados para a taxa de não retorno em espessura (TNRE) são apresentados na tabela 18, na qual pode-se observar que os valores mínimos e máximos apresentados foram de painéis compostos por itaúba nos formatos homogêneo e multicamada, respectivamente. Para esta espécie, observa-se a forte influência do fator composição.

De modo geral, os resultados obtidos para TNRE foram homogêneos na composição, como pode ser visualizado na Figura 21, na qual pode ser observada a clara diferenciação de desempenho entre os painéis homogêneos e multicamada.

A influência do fator composição também é observada para as demais espécies, por meio da comparação com a testemunha, uma vez que para os painéis homogêneos os valores de TNRE foram significativamente menores que o *Pinus spp.* Por outro lado, os painéis multicamadas foram estatisticamente iguais à testemunha, exceto para os painéis de itaúba, os quais diferiram para mais, ou seja, apresentaram valores maiores para a variável.

Foi possível observar a relação tênue entre o inchamento em espessura após 24 horas e o inchamento residual, a qual foi verificada por Iwakiri (1989). O autor observou a relação desta propriedade com a absorção de água, o que não pode ser observado com clareza neste estudo.

Kelly (1977) aponta a relação direta entre o inchamento residual e a massa específica do painel e a relação inversa com o teor de resina. Nesse sentido, foi possível observar esta relação em parte, uma vez que o tratamento 10 (itaúba multicamada) apresentou um dos maiores valores para a massa específica do painel, porém foi o mesmo valor apresentado pelo o tratamento 2 (angelim multicamada), que obteve uma taxa estatisticamente menor de inchamento residual.

Matos (1988), em estudo de painéis produzidos com *Pinus taeda*, observou forte influência da umidade das partículas e presença de parafina sobre o inchamento residual. O autor complementa mencionando que ao adicionar 1 % de parafina o inchamento residual é reduzido.

Pode-se notar, por meio da comparação com a literatura (Tabela 19), que há painéis multicamadas com valores de TNRE superiores aos deste estudo para a variável analisada.

Trianoski (2010) observou para painéis de *Schizolobium parahyba* que a provável causa para o maior inchamento residual está relacionada à elevada razão de compactação da espécie, e

consequentemente à maior liberação das tensões de compressão durante o ensaio. Esta relação não foi observada no presente estudo.

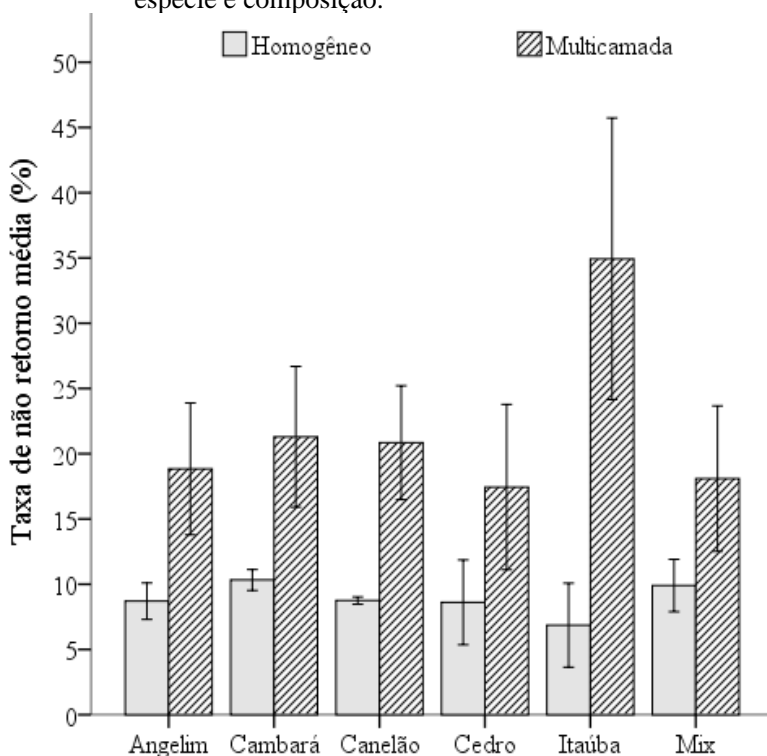
Tabela 18 - Valores médios para a taxa de não retorno em espessura.

Tratamento / Espécie		Média (%)		CV (%)
Composição Homogênea:				
1	Angelim	8,70	A a	15,31
3	Cambará	10,33	A a	7,42
5	Canelão	8,75	A a	3,02
7	Cedro	8,61	A a	35,96
9	Itaúba	6,86	A a	44,68
11	Mix	9,90	A a	19,33
Composição Multicamada:				
2	Angelim	18,84	B a	25,54
4	Cambará	21,30	B a	24,14
6	Canelão	20,84	B a	19,97
8	Cedro	17,44	B a	34,57
10	Itaúba	34,93	A b	29,44
12	Mix	18,08	B a	29,38
Testemunha:				
13	<i>Pinus spp.</i>	21,20	B	15,68

Em que: CV é o coeficiente de variação. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente do tratamento testemunha pelo teste de Dunnett a 95% de confiabilidade. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si, na composição, pelo teste de comparação de médias de Bonferroni a 95% de confiabilidade. Fonte: produção do próprio autor.

Comparativamente à literatura, pode-se dizer que o tratamento 10 apresentou semelhanças com os resultados obtidos por Trianoski (2010) para painéis de *Acrocarpus fraxinifolius*. Os demais tratamentos multicamada apresentaram semelhança com os resultados obtidos pela autora para *Toona ciliata*.

Figura 21 - Valores médios de taxa de não retorno em espessura por espécie e composição.



Em que: barras de erro indicam o intervalo de confiança a 95% de probabilidade. Fonte: produção do próprio autor.

Os resultados para o tratamento testemunha foram menores que os encontrados por Mendes *et al* (2014) para *P. oocarpa* e por Trianoski (2010) para *P. taeda*, sendo que este último apresentou valor muito próximo ao do presente estudo.

Com base nos resultados, pode-se inferir que a composição homogênea foi melhor que o multicamada para taxa de não retorno em espessura. Isto pode ser afirmado, uma vez que todos os resultados obtidos são menores que os apresentados na literatura, indicando a qualidade dimensional destes painéis.

Tabela 19 - Valores da literatura para taxa de não retorno em espessura.

Composição	TNRE (%)	Referência
Homogêneo		
<i>Acrocarpus fraxinifolius</i>	31,3	Trianoski (2010)
<i>Melia azedarach</i>	18,8	Trianoski (2010)
<i>Grevillea robusta</i>	91,8	Trianoski (2010)
<i>Schizolobium parahyba</i>	37,4	Trianoski (2010)
<i>Toona ciliata</i>	13	Trianoski (2010)
<i>E. urophylla</i>	36,1	Mendes et al. (2014)
<i>P. oocarpa</i>	25,1	Mendes et al. (2014)
<i>P. taeda</i>	21,5	Trianoski (2010)
Multicamada		
<i>Acrocarpus fraxinifolius</i> *	30,7	Trianoski (2010)
<i>Melia azedarach</i> *	18,9	Trianoski (2010)
<i>Grevillea robusta</i> *	50,8	Trianoski (2010)
<i>Schizolobium parahyba</i> *	29,7	Trianoski (2010)
<i>Toona ciliata</i> *	18,2	Trianoski (2010)

Em que: TNRE se refere à taxa de não retorno em espessura. *Painéis produzidos com camada interna de *P. taeda* e camadas externas com a espécie mencionada na proporção de 20:60:20. Fonte: produção do próprio autor.

4.4 PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS PAINÉIS

Os resultados da análise fatorial realizada para as propriedades mecânicas de flexão estática, tração perpendicular e arrancamento do parafuso são apresentados na Tabela 20, na qual os valores menores de 0,05 apresentam efeito significativo sobre a variável.

Tabela 20 - Valores de probabilidade dos fatores para os ensaios mecânicos nos painéis.

Propriedade	Fator		
	Composição (C)	Espécie (E)	Interação C*E
Flexão Estática			
- MOE	0,203	0,000	0,155
- MOR	0,000	0,000	0,001
Tração perpendicular	0,004	0,000	0,000
Arrancamento de parafuso			
- Superficial	0,211	0,000	0,481
- Topo	0,000	0,000	0,000

Valores de probabilidade menores que 0,05 indicam influência significativa do fator para a variável analisada. Fonte: produção do próprio autor.

Observa-se que os fatores composição e espécie, de forma isolada, apresentaram influência sobre as variáveis MOR, tração perpendicular, e arrancamento de parafuso de topo.

Para a variável módulo de elasticidade e arrancamento de parafuso superficial, a probabilidade do efeito da composição e da interação dos fatores analisados ser devido ao acaso é relativamente alta, pois excede o limite de 5% utilizado. Isso indica que os resultados, para essas variáveis, tendem a ser semelhantes para painéis produzidos com a mesma espécie, ou seja, o resultado apresentado pela espécie não é dependente da composição. Nesse caso, os fatores devem ser analisados de forma independente.

A partir desses resultados, a análise fatorial foi detalhada para todas as variáveis relacionadas às propriedades mecânicas, por meio do teste de Bonferroni, de forma que possibilite a observação das diferenças

de forma mais objetiva. Os resultados são apresentados para cada propriedade separadamente.

4.4.1 Flexão estática

4.4.1.1 Módulo de Elasticidade

Os valores obtidos para o módulo de elasticidade (MOE) são apresentados na tabela 21, na qual pode-se observar que os resultados variaram de 552,14 a 1375,71 MPa.

Os valores obtidos demonstram que as espécies angelim, cambará e canelão foram superiores às demais nas duas composições (ver Figura 22).

Porém, assim como a espécie, observa-se que a composição também teve influência sobre o módulo de elasticidade, uma vez que foi constatado que os painéis multicamada apresentaram médias estatisticamente maiores que os homogêneos para as mesmas espécies.

Isso pode ser atribuído à presença de *Pinus spp.* que compõem a camada interna dos painéis da composição multicamada. Esta espécie, por possuir menor massa específica básica da madeira, é utilizada em maior quantidade e dessa forma, produz um painel mais compactado, o que acarreta o aumento do desempenho mecânico dos painéis compostos por *Pinus* frente aos homogêneos.

Assim, pode-se afirmar que os tratamentos 2, 4 e 6 foram os que apresentaram o melhor desempenho para esta propriedade.

Em estudo sobre interações de variáveis no ciclo de prensagem de aglomerados, Albuquerque (2002) observou que os resíduos de serragem que passam pelo picador de partículas proporcionam, na estrutura final do painel, vazios e rupturas, o que pode explicar a diminuição na resistência mecânica dos painéis feitos com partículas obtidas deste equipamento. Quanto às partículas, Iwakiri (2005) aponta que seu elevado índice de esbeltez normalmente proporciona resultados elevados no ensaio de flexão estática. As partículas de *Pinus*, com maior razão de esbeltez, proporcionaram valores superiores aos tratamentos homogêneos. Porém, menores valores que os tratamentos 2, 4 e 6, evidenciando que esta não deve ser a única causa que influencia esta propriedade.

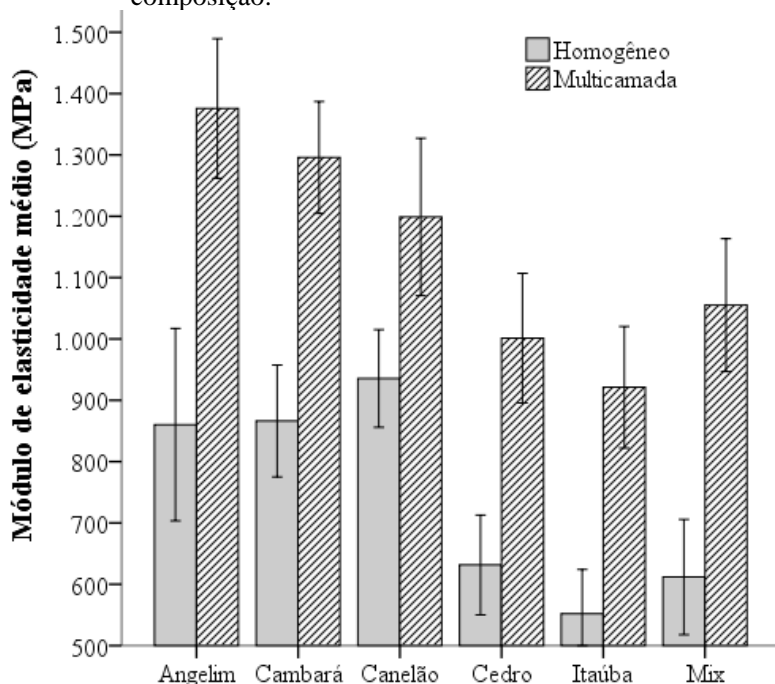
Tabela 21 - Valores médios para o módulo de elasticidade.

Tratamento/Espécie		Média (MPa)		CV (%)
Composição Homogênea:				
1	Angelim	860,22	A a	28,70
3	Cambará	866,23	A a	16,57
5	Canelão	935,62	A a	13,39
7	Cedro	631,46	B b	20,31
9	Itaúba	552,14	B b	20,58
11	<i>Mix</i>	611,90	B b	24,15
Composição Multicamada:				
2	Angelim	1375,71	B a	13,01
4	Cambará	1295,92	B a	11,09
6	Canelão	1198,88	B a	16,83
8	Cedro	1001,22	A b	16,61
10	Itaúba	921,26	A b	16,94
12	<i>Mix</i>	1055,13	A b	16,15
Testemunha:				
13	<i>Pinus spp.</i>	1047,09	A	16,63

Em que: CV é o coeficiente de variação. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente do tratamento testemunha pelo teste de Dunnet a 95% de confiabilidade. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si, na composição, pelo teste de comparação de médias de Bonferroni a 95% de confiabilidade. Fonte: produção do próprio autor.

Trianoski (2010) obteve bons resultados de propriedades mecânicas para painéis MDP de espécies alternativas produzidos com partículas selecionadas em peneiras de 8 a 14 mesh. Diferente deste estudo, no qual as partículas das espécies tropicais foram apenas separadas do teor de finos, porém não classificadas, obtendo-se partículas de maiores dimensões. Dessa forma, o comportamento apresentado pode ter ocorrido devido a fatores relacionados à geometria das partículas, que não foram avaliadas neste estudo.

Figura 22 - Valores médios para módulo de elasticidade por espécie e composição.



Em que: barras de erro indicam o intervalo de confiança a 95% de probabilidade. Fonte: produção do próprio autor.

Nota-se apenas que as espécies angelim, cambará e canelão apresentaram valores de massa específica básica da madeira entre 0,61 e 0,66 g/cm³, assim como o *mix* das espécies. Porém este tratamento, em geral, apresenta um equilíbrio entre as características das espécies que o compõem, o que pode ter diminuído o desempenho destes painéis.

Destaca-se que a itaúba foi a espécie que apresentou os menores valores de razão de compactação para as duas composições. Esta espécie também apresentou o menor desempenho em termos de rigidez. Porém, este comportamento não foi observado para os demais tratamentos que resultaram estatisticamente iguais à itaúba para MOE (cedro e *mix*).

Quanto à comparação com o *Pinus spp.*, as espécies angelim, cambará e canelão na composição homogênea obtiveram destaque, ao resultarem estatisticamente iguais à testemunha. Quanto aos painéis

multicamada, todas as espécies foram iguais ou superiores (angelim, cambará e canelão) à testemunha.

Tabela 22 - Valores da literatura para módulo de elasticidade.

Composição	MOE	Referência
Homogêneo		
<i>M. azedarach</i>	2265,0	Iwakiri et al. (2012a)
<i>G. robusta</i>	1474,6	Trianoski (2010)
<i>Toona ciliata</i>	2427,3	Trianoski (2010)
<i>Schizolobium amazonicum</i>	1983,0	Iwakiri et al. (2010)
<i>Scleronema sp.*</i>	2185,0	Iwakiri et al. (2012b)
<i>Caryocar villosum*</i>	2389,0	Iwakiri et al. (2012b)
<i>Acacia mangium</i>	1803,8	Guimarães Jr. et al. (2013)
<i>Acrocarpus fraxinifolius</i>	1861,2	Trianoski et al. (2011)
<i>P. taeda + M.scabrella</i>	940,4	Sanches (2012)
<i>P. taeda + H.dulcis</i>	1141,0	Sanches (2012)
<i>P. taeda</i>	1581,1	Trianoski (2010)
<i>P. taeda</i>	1039,1	Sanches (2012)
<i>P. taeda</i>	1948,0	Iwakiri et al. (2012a)
<i>P. taeda</i>	1886,6	Iwakiri et al. (2010)
<i>P. taeda</i>	1948,2	Trianoski et al. (2011)
<i>Pinus spp.*</i>	1185,4	Weber (2011)
Multicamada		
<i>Toona ciliata**</i>	2528,9	Trianoski (2010)
<i>Grevillea robusta**</i>	1877,9	Trianoski (2010)
<i>Melia azedarach**</i>	2405,2	Trianoski (2010)
<i>Mimosa scabrella**</i>	1070,7	Sanches (2012)
<i>Hovenia dulcis*</i>	1128,0	Sanches (2012)

Em que: MOE se refere ao módulo de elasticidade, em MPa. *Painéis produzidos a partir de resíduos. **Painéis produzidos com camada interna de *P. taeda* e camadas externas com a espécie mencionada na proporção de 20:60:20. Fonte: produção do próprio autor.

Todos os tratamentos (inclusive os painéis formados por *Pinus spp.*) apresentaram valores médios aquém do limite exigido pela NBR 14810 (2013), que é de 1600MPa. As normas americana e europeia são mais rigorosas e, portanto, também não foram atendidas.

Dentre a literatura consultada, observou-se que os trabalhos de Trianoski (2010) para *G. robusta*, de Weber (2011) para painéis produzidos com resíduos de *Pinus spp.* e o de Sanches (2012) utilizando partículas de *M. scabrella* e *H. dulcis* em uma ou três camadas, também não atingiram os valores normatizados (ver Tabela 22).

Observou-se ainda que Guimarães Júnior et al. (2013) utilizaram o valor nominal de 0,70 g/cm³ para massa específica do painel, e obtiveram bons resultados mecânicos. Desempenho mecânico satisfatório também foi observado no trabalho de Iwakiri et al. (2010) Iwakiri et al. (2012a), Iwakiri et al. (2012b), Trianoski et al. (2011), nos quais foi utilizado o valor nominal de 0,75 g/cm³ para massa específica do painel, diferentemente do presente estudo que utilizou o valor de 0,65 g/cm³ para a variável.

Assim, com o intuito de melhorar a qualidade mecânica dos painéis, sugere-se o controle mais efetivo da granulometria e a redução da espessura das partículas, de forma a obter maiores valores de razão de esbeltez e conseqüentemente, de rigidez. Salienta-se que o possível aumento da massa específica dos painéis pode apresentar resultados mais promissores.

4.4.1.2 Módulo de ruptura

Os resultados encontrados para o módulo de ruptura variaram entre 2,12 e 10,51 MPa, conforme apresentado na Tabela 23, onde pode-se observar que as espécies que se destacaram positivamente para MOR foram o angelim, cambará e o canelão e cedro, independentemente da composição.

O cedro apresentou também, assim como o *mix* de espécies, médias intermediárias na composição homogênea, porém ao adicionar *Pinus spp.* ambos foram significativamente maiores que na composição homogênea. Já a itaúba apresentou novamente as menores médias para o ensaio de flexão estática.

Isto pode ter ocorrido devido à geometria das partículas pois, segundo Geimer e Price (1978), a capacidade dos painéis em suportar esforços de flexão aumenta diretamente com o comprimento das partículas. Conforme mencionado anteriormente para MOE, a fração das

partículas utilizada neste estudo é maior do que mencionam diversos trabalhos na literatura e pode ter sido um fator de influência sobre os resultados.

Tabela 23 - Valores médios para o módulo de ruptura.

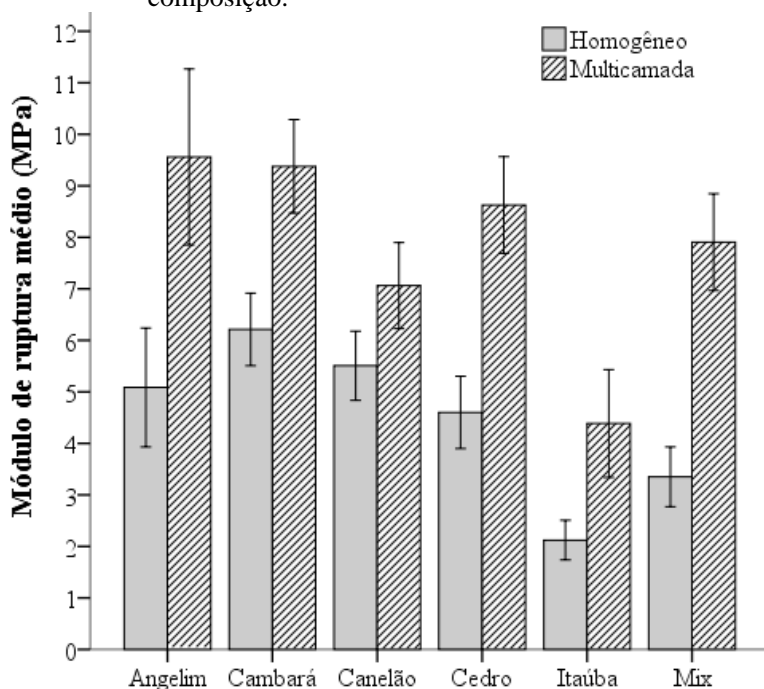
Tratamento/Espécie	Média (MPa)	CV (%)
Composição Homogênea:		
1 Angelim	5,09 B a	35,79
3 Cambará	6,21 B a	17,86
5 Canelão	5,51 B a	19,21
7 Cedro	4,60 B ab	24,02
9 Itaúba	2,12 B c	28,54
11 <i>Mix</i>	3,35 B b	27,26
Composição Multicamada:		
2 Angelim	9,56 A a	28,11
4 Cambará	9,38 A a	15,22
6 Canelão	7,06 B a	18,61
8 Cedro	8,63 B a	17,10
10 Itaúba	4,39 B b	37,55
12 <i>Mix</i>	7,91 B a	18,68
Testemunha:		
13 <i>Pinus spp.</i>	10,51 A	21,74

Em que: CV é o coeficiente de variação. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente do tratamento testemunha pelo teste de Dunnet a 95% de confiabilidade. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si, na composição, pelo teste de comparação de médias de Bonferroni a 95% de confiabilidade.

Em relação ao processo de densificação dos painéis, Moslemi (1974) relatou que painéis produzidos com espécies de baixa massa específica geralmente apresentaram maior resistência à flexão, quando comparados com painéis obtidos de espécies de alta massa específica. Observa-se ainda que o *Pinus spp.*, dentre as espécies avaliadas, é a que possui menor massa específica da madeira e por isso, proporcionou a

produção de painéis com maior quantidade de material, disponibilizando a maior área superficial adesiva. Isto aponta que as misturas e composições realizadas com esta espécie, tendem a melhorar suas propriedades mecânicas, frente a painéis homogêneos sem *Pinus spp.* Isto foi observado para o módulo de ruptura, uma vez que o efeito positivo da composição foi demonstrado para todas as espécies (ver Figura 23).

Figura 23 - Valores médios de módulo de ruptura por espécie e composição.



Em que: barras de erro indicam o intervalo de confiança a 95% de probabilidade. Fonte: produção do próprio autor.

Os resultados médios obtidos para os tratamentos foram menores que os encontrados na literatura (ver Tabela 24).

Em relação aos tratamentos da composição multicamada, observou-se a proximidade dos tratamentos compostos por angelim, cambará e cedro com os resultados encontrados por Sanches (2012) para painéis de *H. dulcis* e *M. scabrella*.

Tabela 24 - Valores da literatura para módulo de ruptura.

Composição	MOR	Referência
Homogêneo		
<i>M. azedarach</i>	19,6	Iwakiri et al. (2012a)
<i>G. robusta</i>	7,0	Trianoski (2010)
<i>Toona ciliata</i>	19,8	Trianoski (2010)
<i>Schizolobium amazonicum</i>	15,6	Iwakiri et al. (2010)
<i>Scleronema sp.*</i>	13,8	Iwakiri et al. (2012b)
<i>Caryocar villosum*</i>	13,7	Iwakiri et al. (2012b)
<i>Acacia mangium</i>	11,1	Guimarães Jr. et al. (2013)
<i>Acrocarpus fraxinifolius</i>	13,1	Trianoski et al. (2011)
<i>P. taeda + M.scabrella</i>	7,6	Sanches (2012)
<i>P. taeda + H.dulcis</i>	9,1	Sanches (2012)
<i>P. taeda</i>	11,2	Trianoski (2010)
<i>P. taeda</i>	9,5	Sanches (2012)
<i>P. taeda</i>	12,9	Iwakiri et al. (2012a)
<i>P. taeda</i>	12,0	Iwakiri et al. (2010)
<i>P. taeda</i>	12,9	Trianoski et al. (2011)
<i>Pinus spp.*</i>	6,5	Weber (2011)
Multicamada		
<i>Toona ciliata**</i>	18,7	Trianoski (2010)
<i>Grevillea robusta**</i>	10,9	Trianoski (2010)
<i>Melia azedarach**</i>	16,9	Trianoski (2010)
<i>Mimosa scabrella**</i>	8,9	Sanches (2012)
<i>Hovenia dulcis*</i>	9,7	Sanches (2012)

Em que: MOR se refere ao módulo de ruptura, em MPa. *Painéis produzidos a partir de resíduos. **Painéis produzidos com camada interna de *P. taeda* e camadas externas com a espécie mencionada na proporção de 20:60:20. Fonte: produção do próprio autor.

Os painéis produzidos com partículas de *Pinus spp.* apresentaram resultados próximos aos encontrados por Sanches (2012) e Trianoski (2010), ambos para *Pinus taeda* e superiores ao encontrado por Weber (2011) trabalhando com resíduos de *Pinus spp.*

A NBR 14810 (2013) estipula o valor de 11 MPa para o módulo de ruptura. Dessa forma, nenhum tratamento realizado atendeu a este requisito. As normas internacionais (americana e europeia) preconizam valores limítrofes maiores, e portanto, também não foram atendidas.

Visando o atendimento à norma, de forma análoga ao módulo de elasticidade, seria o aumento do teor de resina, porém o teor utilizado de 12% é considerado o limite máximo utilizado comercialmente, em função do custo do adesivo refletir de forma expressiva no valor do produto final. Nesse sentido este parâmetro não deve ser aumentado.

Outra indicação é a diminuição da espessura das partículas, bem como o aumento da massa específica dos painéis, e conseqüentemente se alcançam maiores valores de razão de compactação e maiores valores de rigidez e resistência.

Poderiam ser realizadas também alterações no ciclo de prensagem, visando maior densificação das camadas externas.

4.4.2 Tração perpendicular

O ensaio de tração perpendicular à superfície do painel resultou em valores variando entre 0,16 e 0,53 MPa, conforme apresentado na tabela 25.

Os resultados de resistência à tração destacam as espécies angelim, cambará e cedro, as quais apresentaram valores significativamente maiores que as demais em ambas as composições. Porém, ressalta-se os resultados dos painéis homogêneos de angelim, cambará, canelão e cedro e ainda os resultados dos painéis multicamadas de angelim, cambará, cedro e *mix*, pois foram os tratamentos que apresentaram as médias mais altas, sendo que valores maiores de resistência a tração indicam boa qualidade de colagem dos painéis.

Pode-se dizer que a composição apresentou influência positiva sobre o *mix* das espécies, uma vez que houve aumento significativo quando foram incorporadas partículas de *Pinus spp.* aos painéis. Já os painéis compostos por angelim, cambará, canelão e itaúba apresentaram o comportamento contrário, sendo que o melhor desempenho dessas espécies foi observado na composição homogênea.

As diferentes características entre as partículas das espécies podem ter influenciado estes tratamentos, proporcionando uma fragilidade no contato entre as partículas ao alternar as camadas do painel. Em estudo avaliando a influência da estrutura do colchão e de diferentes concentrações de adesivo nas propriedades de painéis particulados,

Gouveia *et al.* (2003) apontaram a diferença da massa específica das espécies, bem como a interatividade baixa entre a madeira de *Eucalyptus* e o adesivo, como as razões para a ruptura observada na transição entre as partículas de *Pinus* e *Eucalyptus*.

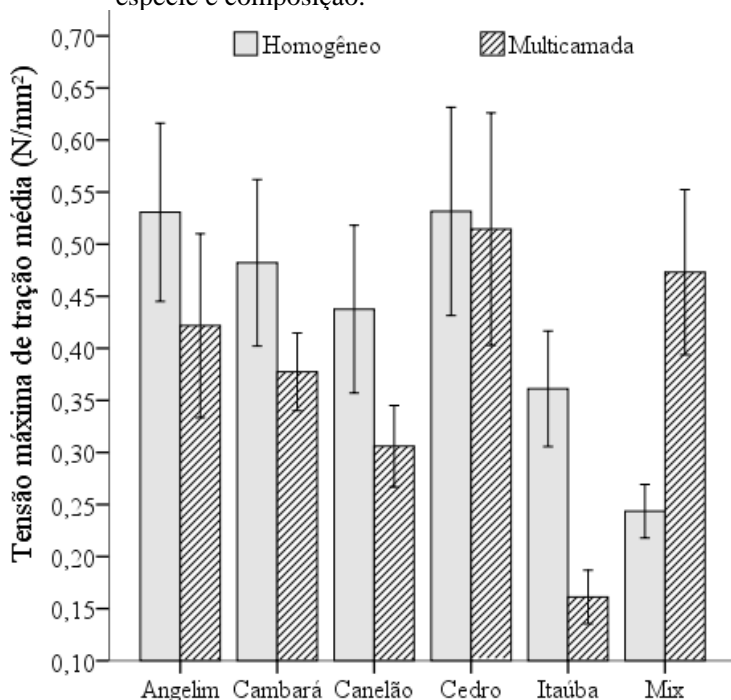
Tabela 25 - Valores médios de resistência à tração.

Tratamento / Espécie		Média (MPa)		CV (%)
Composição Homogênea:				
1	Angelim	0,53	B a	25,35
3	Cambará	0,48	B ab	26,11
5	Canelão	0,44	B ab	28,97
7	Cedro	0,53	B a	29,62
9	Itaúba	0,36	A bc	24,16
11	Mix	0,24	A c	16,64
Composição Multicamada:				
2	Angelim	0,42	A ab	32,95
4	Cambará	0,38	A ab	15,55
6	Canelão	0,31	A b	20,12
8	Cedro	0,51	B a	34,14
10	Itaúba	0,16	B c	25,17
12	Mix	0,47	B a	26,39
Testemunha:				
13	<i>Pinus spp.</i>	0,30	A	14,03

Em que: CV é o coeficiente de variação. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente do tratamento testemunha pelo teste de Dunnet a 95% de confiabilidade. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si, na composição, pelo teste de comparação de médias de Bonferroni a 95% de confiabilidade. Fonte: produção do próprio autor.

Em contrapartida, o cedro apresentou médias altas, independentemente da composição (ver Figura 24).

Figura 24 - Valores médios de tensão máxima de tração perpendicular por espécie e composição.



Em que: barras de erro indicam o intervalo de confiança a 95% de probabilidade. Fonte: produção do próprio autor.

Foi possível perceber que o resultado para o cedro está relacionado à baixa massa específica da madeira e à alta razão de compactação. Essas características podem ter propiciado uma melhor adesão entre as partículas e também entre as partículas de cedro e de *Pinus spp.* Essa relação com a massa específica básica da madeira e com a razão de compactação, não foi observada para os resultados de ligação interna dos demais tratamentos, não podendo ser estabelecida uma relação clara entre essas características e a propriedade de ligação interna. Os painéis de *Pinus spp.* que compõem o tratamento testemunha resultaram em valores inferiores aos encontrados na literatura para o gênero (ver Tabela 26), excetuando os resultados obtidos por Dacosta (2004) para painéis compostos de serragem e maravalha de *P. elliottii*.

Tabela 26 - Valores da literatura para o ensaio de tração.

Composição	RT	Referência
Homogêneo		
<i>Grevillea robusta</i>	0,71	Iwakiri et al. (2004)
<i>Schizolobium amazonicum</i>	0,76	Iwakiri et al. (2010)
<i>Cecropia hololeuca</i>	0,68	Iwakiri et al. (2010)
<i>Acrocarpus fraxinifolius</i>	1,12	Trianoski et al. (2011)
<i>Ecclinusa guianensis</i> *	1,46	Iwakiri et al. (2012b)
<i>Ocotea guianensis</i> *	0,68	Iwakiri et al. (2012b)
<i>Virola surinamensis</i> *	0,82	Iwakiri et al. (2012b)
<i>E. grandis</i>	0,28	Melo e Del Menezzi (2010)
<i>E. saligna</i> *	0,23	Pedrazzi et al. (2006)
<i>P. taeda</i> + <i>M. scabrella</i>	1,01	Sanches (2012)
<i>P. taeda</i> + <i>H. dulcis</i>	0,92	Sanches (2012)
<i>P. taeda</i>	0,58	Iwakiri et al. (2010)
<i>P. taeda</i>	0,86	Iwakiri et al. (2012a)
<i>P. elliotii</i> * (serragem)	0,21	Dacosta (2004)
<i>P. elliotii</i> * (maravalha)	0,18	Dacosta (2004)
<i>Pinus spp.</i> *	0,54	Weber (2011)
Multicamada		
<i>Melia azedarach</i> **	1,22	Trianoski (2010)
<i>Grevillea robusta</i> **	0,69	Trianoski (2010)
<i>Toona ciliata</i> **	0,97	Trianoski (2010)
<i>Mimosa scabrella</i> **	1,04	Sanches (2012)
<i>Hovenia dulcis</i> **	1,28	Sanches (2012)

Em que: RT se refere à resistência à tração perpendicular à superfície do painel, em MPa. *Painéis produzidos a partir de resíduos. **Painéis produzidos com camada interna de *P. taeda* e camadas externas com a espécie mencionada na proporção de 20:60:20. Fonte: produção do próprio autor.

Os painéis produzidos com misturas de espécies na composição homogênea encontradas na literatura (SANCHES, 2012) foram superiores ao obtido no tratamento 11 (*mix* homogêneo).

Os resultados médios dos painéis que atenderam a norma se aproximam do encontrado por Weber (2011) para painéis particulados produzidos a partir de resíduos de painéis MDP e por Iwakiri *et al.* (2010) para *P. taeda*.

Quanto à comparação com as normas internacionais, verificou-se que apenas os painéis compostos por uma camada de angelim e cambará e os painéis de cedro nas duas composições atingiram o valor mínimo de 0,48 MPa exigidos pela CS 236-66 (COMMERCIAL STANDARD, 1968).

De acordo com a norma ANSI A 208.1 (2009), os tratamentos 4, 6, 9, 10, 11 e 13 não atenderam ao limite mínimo exigido, que é de 0,40 MPa.

Já a norma NBR 14810 (ABNT, 2013), assim como a EN 312 (EUROPEAN STANDARD, 2003), preconizam o valor limítrofe de 0,35 MPa para painéis de média densidade. Assim, apenas os tratamentos 6, 10, 11 e 13 não atenderam aos requisitos mínimos exigidos.

Iwakiri *et al.* (2012b), em avaliação de painéis produzidos com resíduos de serrarias de espécies tropicais da Amazônia, encontrou valores entre 0,68 e 1,46 MPa, demonstrando a variação decorrente da matéria-prima utilizada, o que também foi observado no presente estudo.

Em estudo sobre a granulometria das partículas de *P. taeda* combinadas com adesivos comerciais na produção de painéis particulados, Peixoto e Brito (2000) constataram que os painéis de partículas menores e adesivo a base de ureia tiveram maior resistência à tração, que é atribuída pelos autores à melhor uniformização do material e pela ocorrência de menores espaços internos.

Melo e Del Menezzi (2010) relacionaram o baixo desempenho de painéis de *E. grandis* ao gradiente vertical de densidade. Segundo os autores, esse gradiente pode ser influenciado pelo tipo de matéria-prima e fatores relacionados à prensagem, como tempo de prensagem, tempo de fechamento da prensa e pressão. Vital (1973), ao estudar diferentes espécies de madeira utilizadas na manufatura de painéis aglomerados, verificou que a resistência a ligação interna foi influenciada pela massa específica da camada interna do painel.

Nesse sentido, sugere-se o aumento de densidade dos painéis aliado ao maior controle da uniformização das partículas na caixa formadora do colchão em nível laboratorial.

4.4.3 Arrancamento de parafuso

Os resultados médios para as propriedades de arrancamento de parafuso de superfície e de topo variaram entre 512,38 e 1199,85 N e de 330,51 a 1166,17 N, respectivamente.

Por meio do teste de comparação de médias de Bonferroni, pode-se afirmar que o ensaio de arrancamento de parafuso na superfície do painel resultou em valores estatisticamente superiores para as espécies angelim, cambará, canelão e cedro, tanto para os painéis homogêneos como os multicamadas (ver Tabela 27).

Destaca-se que, independente do ponto de teste no painel (superfície ou topo), a testemunha apresentou o melhor desempenho. Por outro lado, espécie itaúba apresentou o pior desempenho para ambas as versões deste ensaio, independentemente da composição (ver Figura 25).

O arrancamento de parafuso de topo resultou em valores superiores para as espécies angelim, cambará, canelão e cedro para painéis homogêneos. Entre os painéis multicamada, aqueles compostos por cedro e a mistura das espécies demonstraram resultados melhores que os demais.

O comportamento apresentado neste teste pode ser relacionado com a razão de compactação, pois, conforme explica Trianoski (2010), menores índices desta variável tendem a aumentar os espaços vazios no painel e promover um menor contato entre as partículas, gerando assim uma menor resistência mecânica. Tal tendência pode ser observada, em termos gerais, entre as composições, sendo os painéis multicamada superiores aos homogêneos tanto para a razão de compactação como para arrancamento de parafuso (exceto para angelim e itaúba).

Porém, na comparação com a testemunha, apenas os painéis multicamada de cambará e cedro foram estatisticamente semelhantes ao *Pinus spp.* para a superfície do painel. Para o topo a testemunha diferiu dos demais tratamentos.

Assim, a testemunha e os tratamentos que foram significativamente iguais a esta foram os que atenderam às normas ANSI A 208.1 (2009) e NBR 14810 (2013), que estabelecem os valores mínimos de 1000 e 1020 N, respectivamente.

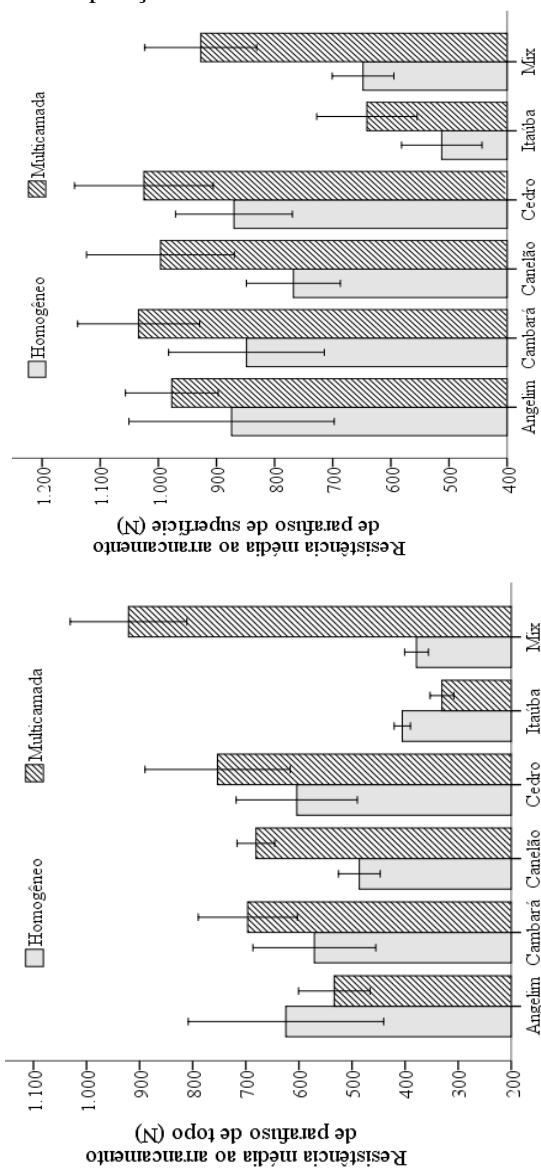
Tabela 27 - Valores médios para arrancamento de parafuso.

Tratamento / Espécie	Superfície (N)			Topo (N)		
	Média		CV	Média		CV
Composição Homogênea:						
1 Angelim	874,00	B ab	31,79	624,35	B a	46,42
3 Cambará	848,25	B a	24,85	570,80	B a	31,90
5 Canelão	767,64	B ab	16,59	485,98	B ab	12,73
7 Cedro	869,88	B a	18,19	604,01	B a	29,74
9 Itaúba	512,38	B c	21,23	405,25	B b	6,00
11 <i>Mix</i>	647,86	B b	12,88	378,41	B b	9,38
Composição Multicamada:						
2 Angelim	976,80	B ab	12,85	533,26	B c	19,90
4 Cambará	1033,79	A a	15,98	696,33	B bc	21,06
6 Canelão	996,21	B ab	20,11	680,87	B bc	8,22
8 Cedro	1024,87	A a	18,35	753,16	B ab	28,59
10 Itaúba	641,16	B c	21,19	330,51	B d	10,70
12 <i>Mix</i>	927,06	B b	16,35	921,03	B a	18,79
Testemunha:						
13 <i>Pinus spp.</i>	1199,85	A	8,97	1166,17	A	47,66

Em que: CV é o coeficiente de variação, em porcentagem. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente do tratamento testemunha pelo teste de Dunnett a 95% de confiabilidade. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si, na composição, pelo teste de comparação de médias de Bonferroni a 95% de confiabilidade. Fonte: produção do próprio autor.

No que tange à composição homogênea, foram observados valores menores para as duas variações deste ensaio (superfície e topo) em relação aos trabalhos de Trianoski (2010), Trianoski *et al.* (2011) e Iwakiri *et al.* (2012a), conforme a Tabela 28. Essa diferença pode ser relacionada à massa específica dos painéis, uma vez que a primeira autora utilizou o valor nominal de 0,80 g/cm³ e os outros dois trabalhos utilizaram 0,75 g/cm³.

Figura 25 - Valores de arrancamento de parafuso por espécie e composição.



Em que: barras de erro indicam o intervalo de confiança a 95% de probabilidade. Fonte: produção do próprio autor.

Em relação aos trabalhos que utilizaram valores nominais mais próximos do presente estudo, pode-se dizer que o resultado de Sanches (2012), estudando painéis de misturas de *P. taeda* com as espécies *M. scabrella* e *H. dulcis* utilizando 0,65g/cm³ como massa específica nominal, foram menores para a superfície dos painéis (exceto para itaúba) e maiores para o topo dos painéis. Já os resultados apresentados por Modes et al. (2012), estudando painéis homogêneos de *P. dubium* com massa específica de 0,63 g/cm³, foram menores que o deste estudo (exceto para itaúba).

Tabela 28 - Valores da literatura para arrancamento de parafuso.

Composição	S (N)	T (N)	Referência
Homogêneo			
<i>Melia azedarach</i>	1900,0	1615,0	Iwakiri et al. (2012a)
<i>Grevillea robusta</i>	920,2	735,2	Trianoski (2010)
<i>Acrocarpus fraxinifolius</i>	1483,0	1088,0	Trianoski et al. (2011)
<i>Peltophorum dubium</i>	557,8	----	Modes et al. (2012)
<i>P. taeda</i> + <i>M. scabrella</i>	551,0	510,0	Sanches (2012)
<i>P. taeda</i> + <i>H. dulcis</i>	590,8	645,4	Sanches (2012)
<i>P. taeda</i>	605,6	586,1	Sanches (2012)
<i>P. taeda</i>	1206,7	1295,9	Trianoski (2010)
<i>P. taeda</i>	1031,9	846,1	Trianoski et al. (2011)
<i>P. taeda</i>	1031,0	901,0	Iwakiri et al. (2012a)
<i>Pinus spp.*</i>	1049,5	1066,7	Weber (2011)
Multicamada			
<i>Melia azedarach**</i>	1632,5	1467,1	Trianoski (2010)
<i>Grevillea robusta**</i>	1092,2	1193,6	Trianoski (2010)
<i>Mimosa scabrella**</i>	675,7	539,1	Sanches (2012)
<i>Hovenia dulcis**</i>	810,8	676,8	Sanches (2012)

Em que: S e T se referem ao arrancamento de parafuso de superfície e topo, respectivamente. *Painéis produzidos a partir de resíduos. **Painéis produzidos com camada interna de *P. taeda* e camadas externas com a espécie mencionada na proporção de 20:60:20. Fonte: produção do próprio autor.

Quanto aos painéis multicamada, os valores obtidos neste estudo para a superfície do painel se assemelham ao encontrado na literatura (exceto os painéis de itaúba), diferindo apenas do resultado encontrado por Trianoski (2010) para *Melia azedarach*. Os resultados deste ensaio efetuado no topo dos painéis multicamada apresenta proximidade com os resultados de Sanches (2012), porém são inferiores aos valores obtidos por Trianoski (2010).

O desempenho dos painéis de *Pinus spp.* foi satisfatório quando comparado com a literatura, distante apenas do valor mais baixo encontrado por Sanches (2012).

Modes et al. (2012) observou que os painéis de *P. dubium*, produzidos com partículas provenientes de plaina desengrossadeira sem redução de granulometria, apresentaram correlação exclusivamente com as variáveis de fabricação dos painéis, em maior grau com a massa específica básica dos painéis, seguida da razão de compactação.

Dessa forma, assim como levantadas para as demais propriedades mecânicas, as razões para o baixo desempenho no teste de arrancamento de parafuso podem estar relacionadas às variáveis de produção dos painéis. Isto posto, sugere-se a melhoria destas variáveis, por meio da utilização de maior quantidade de material de menor granulometria e do maior controle na formação do colchão.

5 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados das análises efetuadas neste estudo, apresentam-se as seguintes conclusões:

- Foi possível identificar anatomicamente as espécies tropicais em nível de gênero para o angelim (*Hymenolobium sp.* / *Andira sp.*), cambará (*Qualea sp.*) e canelão (*Ocotea sp.* / *Nectandra sp.*), e em nível de espécie para cedro (*Cedrelinga cateniformis*) e itaúba (*Mezilaurus itauba*). Foi verificado ainda que os nomes pelos quais as madeiras são comercializadas correspondem, de fato, às espécies coletadas e utilizadas no estudo.

- Foi possível observar o efeito dos fatores espécie e composição sobre a estabilidade dimensional dos painéis. Os painéis homogêneos apresentaram melhor desempenho frente aos multicamadas nas propriedades físicas. Diferentemente dos painéis multicamada, todos os painéis homogêneos atenderam aos requisitos mínimos exigidos pelas normas, destacando-se as espécies angelim e cambará.

- Em relação ao desempenho mecânico dos painéis, pode-se afirmar que, em geral, os painéis apresentaram boa ligação entre as partículas, atendendo à norma brasileira. Porém, para as demais propriedades mecânicas os painéis não atenderam às normas, com exceção da testemunha (tratamento puro de *Pinus spp.*) para arrancamento de parafuso.

- Em geral, a mistura de espécies não mostrou-se viável, porém a razão pode não necessariamente residir nas espécies, mas na granulometria das partículas utilizadas.

- Diante dos resultados das propriedades físico-mecânicas, foi possível inferir que a provável causa do não atendimento às normas seja a falta de controle da deposição das partículas na formação do colchão, bem como a granulometria das espécies.

- Conclui-se que as espécies cedro, angelim, cambará demonstraram resultados promissores para painéis homogêneos ou multicamadas, indicando o potencial do resíduo destas espécies como matéria-prima na produção de painéis. Porém, recomenda-se estudos com as demais

espécies, pois acredita-se que melhorando a uniformidade da altura do colchão, diminuindo o tamanho das partículas, bem como aumentando a massa específica nominal dos painéis, seja possível obter resultados consoantes às normas para todas as espécies.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIMCI – Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente. **Estudo Setorial 2009**, ano base 2008. ABIMCI, Curitiba – PR, 2009.

ABIPA – Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira. Nossos produtos. 2014. Disponível em: <<http://www.abipa.org.br/produtosMDP.php>> Acesso em: 20 mar 2014.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 11941**: madeira: determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003. 6p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14810**: painéis de madeira de média densidade. Parte 2: requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013. 69p.

ABRAF – Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. **Anuário Estatístico ABRAF 2013** - ano base 2012. ABRAF, Brasília. 2013. 148p.

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

ALBIN, R.A. Determinación del pH en diversas especies de los renovales de la Provincia de Valdivia. **Bosque**, v.1, n.1, p.3-5, 1975.

ALBUQUERQUE, C.E.C. **Interações de variáveis no ciclo de prensagem de aglomerados**. 150f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

ALMEIDA, J.E. de; LOGSDON, N.B.; JESUS, J.M.H. de. Painéis de madeira aglomerada produzidos com serragem e poliestireno expandido. **Floresta**, Curitiba, v.42, n.1, p. 189-200, jan/mar 2012.

ALVES, R.C.; MOTTA, J.P.; OLIVEIRA, J.T. da S. Relação entre a estrutura anatômica e algumas propriedades da madeira de angelim-pedra (*Hymenolobium petraeum*, Leguminosae). In: XIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e IX Encontro Latino Americano de Pós-Graduação, Universidade do Vale do Paraíba. **Anais...** 4p. 2009. Disponível em: <http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2009/anais/arquivos/RE_1143_1428_01.pdf> Acesso em: 17/07/2014.

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

ARAÚJO, H.J.B. Relações funcionais entre propriedades físicas e mecânicas de madeiras tropicais brasileiras. **Floresta**, Curitiba, v.37, n.3, set/dez 2007.

AREA, M.C. **Panorama de la industria de celulosa y papel en Iberoamérica**. Argentina: Red Iberoamericana de Docencia e Investigación en Celulosa y Papel, 2008.

ASTM - American Society for Testing and Materials. **Standard test methods for evaluating properties of wood-base fiber and particle panels**: ASTM D 1037-91. Philadelphia: ADTM, v. 04.09, 1991. (Annual Book of ASTM Standards).

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.

BARAÚNA, E.E.P. **Permeabilidade das madeiras de amapá (*Brosimum parinarioides* Ducke) e faveira (*Parkia gigantocarpa* Ducke)**. 69f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

BIANCHE, J.J.; CARNEIRO, A de C.O.; VITAL, B.R.; PEREIRA, F.A.; SANTOS, R.C. dos; 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, dez 2012.

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

BONDUELLE, G.M.; CHIES, D.; MARTINS, D.G. O processo de fabricação de painéis compensados no Estado do Paraná analisado por meio dos rendimentos e dos resíduos gerados. In: Congresso Ibero-Americano de Pesquisa e Desenvolvimento de Produtos Florestais, 2002, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR, 2002. p.124.

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

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente – MMA. **Lei nº 12305**, de 02 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm> Acesso em: 02 mai 2014.

BRITO, E.O. **A viabilidade de utilização de espécies de Pinus para a produção de chapas de composição estruturais “waferboards”**. 102f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1984.

BRITO, E. O.; BATISTA, D.C.; VIDAURRE, G.B.; SAMPAIO, L. de C. Chapas de madeira aglomerada de uma camada de *Pinus elliottii* Engelm com a adição das cascas de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Cerne**, v. 11, n. 4, p. 369-375, 2005.

BRITO, E.O.; SÁ-ROCHA, J.D.; VIDAURRE, G.B.; BATISTA, D.C.; PASSOS, P.R.A.; MARQUES, L.G. da C. Propriedades de chapas produzidas com resíduos do fruto de coco e partículas de pinus. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v.11, n.2, p.1-6, 2004.

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

CAI, Z.; BIRKELAND, M.; WESCOTT, J.M.; O'DELL, J.; WINANDY, J.E. Effects of press sizes on internal steam pressure during particleboard hot-pressing process. **Forest Products Journal**, v.59, n.4, p.40-44, 2009.

CALEGARI, L.; HASELEIN, C.R.; HILLIG, E.; SANTINI, E.J. Elevação da temperatura durante a prensagem de painéis aglomerados colados com tanino-fenol-formaldeído. In: 8º Congresso Florestal Estadual do Rio Grande do Sul, nov. 2000, Nova Prata, RS. **Anais: 8º Congresso Florestal Estadual**. p.651-656. 2000.

CARDOSO, C. da C. Caracterização físico-mecânica de madeiras amazônicas com aptidão tecnológica para comercialização. **Revista de Ciências Agrárias**, v.55, n.3, p.176-183, jul/set 2012.

CARNEIRO, A. de C.O.; VITAL, B.R.; FREDERICO, P.G.U.; CARVALHO, M.M.L.C.; VIDAURRE, G.B. Propriedades de chapas aglomeradas fabricadas com adesivo tânico de angico-vermelho (*Anadenanthera peregrina*) e ureia-formaldeído. **Árvore**, Viçosa, v.33, n.3, p.521-531, 2009.

CASTIGLIONI, J.A. El leño secundario de las especies argentinas de Nectandra. **Revista de Investigaciones Forestales**, v.3, n.1, p.1-15, 1962.

CHIPANSKI, E. do R. **Proposição para melhoria do desempenho ambiental da indústria de aglomerado no Brasil**. 193f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

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

CSA - CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION. **CSA 0437 – 93:** OSB and waferboard. Ontario, 1993. 18p.

DACOSTA, L.P.E. **Utilização de resíduos do processamento mecânico da madeira para a fabricação de chapas de partículas aglomeradas.** 102f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

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

DESCH, H.E. **Timbers, its structure and properties.** London: Macmillan, 5th ed. 1973.

DIAS, F.M. **Aplicação de resina poliuretana à base de mamona na fabricação de painéis de madeira aglomerada.** Produtos derivados da madeira: síntese dos trabalhos desenvolvidos no Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira, SET-EESC-USP. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. p.73-92. 2005.

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

EINSFELD, C. de L. **Análise da competitividade entre as indústrias de painéis de madeira: compensado, MDF e OSB no estado do Paraná.** 83f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

ELEOTÉRIO, J.R. **Propriedades físicas e mecânicas de painéis MDF de diferentes massas específicas e teores de resina.** 121f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2000.

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

FAGUNDES, H.A.V. **Diagnóstico da produção de madeira serrada e geração de resíduos do processamento de madeira de florestas plantadas no Rio Grande do Sul**. 173f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

FERREIRA, C.E.M.; CARRASCO, E.V.M.; HELMEISTER, J.C. Tecnologia de adesivos poliuretanos: propriedades e aplicações em madeiras. In: Encontro Brasileiro de Madeiras e Estruturas de Madeiras, São Carlos. **Anais...** São Carlos: LaMEM/EESC-USP, p.39-74, 1989.

FERREIRA, O.P.; ZENID, G.J.; NAHUZ, M.A.R.; MIRANDA, M.J. de A.C.; BRAZOLIN, S. **Madeira: uso sustentável na construção civil**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas: SVMA: Sinduscon – SP, 2003. 59p.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood handbook**: wood as an engineering material. Washington: USDA/FS, 1987. 466p. (Agriculture Handbook, 72).

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

GEIMER, R. L.; PRICE, E. W. Construction variables considered in the fabrication of structural flakeboard. In: Structural flakeboard from forest residues: symposium presented by the USDA Forest Service, 1978, Kansas City. **Proceedings...** Washington: Forest Service. Department of Agriculture, 1978. p. 69-80.

GERWING, J.; VIDAL, E.; VERISSIMO, A.; UHL, C. **Rendimento no processamento de madeira no Estado do Pará**. Série Amazônica nº 18, Belém: Imazon, 2000. 38p.

GINZEL, W.; PERAZA, C. **Tecnología de tableros de partículas**. Madrid: Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias, 1966. 187p.

GOLDSTEIN, I.S. Overview of the chemical composition of wood. P.1-5. 1991. In: International Fiber Science and Technology, **Proceedings**, v.11, 1991, 488p.

GONÇALEZ, J.C.; GONÇALVES, D.M. Valorização de duas espécies de madeira *Cedrelinga cateniformis* e *Enterolobium schomburgkii* para a indústria madeireira. **Brasil Florestal**, n.70, jun 2001.

GOUVEIA, F. N.; VITAL, B. R.; SANTANA, M. A. E. Avaliação de três tipos de estrutura de colchão e três níveis de resina fenólica na produção de chapas de partículas orientadas – OSB. **Árvore**, v. 27, n.3, p. 365-370, 2003.

GUIMARÃES JÚNIOR, J.B. **Painéis de madeira de eucalipto: estudo de caso de espécies e procedências**. 95f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

GUIMARÃES JÚNIOR, J.B.; ARAÚJO, B.L.M.; LOPES, O.P.; MENDES, R.F.; MENDES, L.M. Produção de painéis aglomerados da madeira de desrama de *Acacia mangium*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.33, n.76, p.387-391, 2013.

GUIMARÃES JÚNIOR, J.B.; MENDES, L.M.; MENDES, R.F.; MORI, F.A. Painéis de madeira aglomerada de resíduos da laminação de diferentes procedências de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus cloeziana*. **Cerne**, Lavras, v.17, n.4, p.443-452, out/dez 2011.

HIGA, A.R.; KAGEYAMA, P.Y.; FERREIRA, M. Variação da densidade básica da madeira de *P. elliotii* var. *elliotii* e *P. taeda*. **IPEF**, n.7, p.79-91, 1973.

HIGUCHI, T. **Biochemistry and molecular biology of wood**. Berlin: Springer, 1997. 362p.

HILLIG, E. **Qualidade de chapas aglomeradas estruturais, fabricadas com madeira de pinus, eucalipto e acácia negra, puras ou misturadas, coladas com tanino-formaldeído**. 96f. Dissertação (Mestrado em

Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

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

HILLIG, E.; HASELEIN, C.R.; SANTINI, E.J. Estabilidade dimensional de chapas aglomeradas estruturais (*flakeboards*) fabricadas com madeiras de pinus, eucalipto e acácia-negra. **Scientia Forestalis**, n.65, p.80-94, jun 2004.

HILLIG, E.; SCHNEIDER, V.E. **Resíduos da atividade moveleira e de base florestal: caracterização e aproveitamento**. Capítulo 6. In: Polo Moveleiro da Serra Gaúcha – Sistemas de Gerenciamento Ambiental na Indústria Moveleira. Caxias do Sul: Educs, 2006.

HILLIG, E.; SCHNEIDER, V.E.; PAVONI, E.T. Geração de resíduos de madeira e derivados da indústria moveleira em função das variáveis de produção. **Produção**, v.19, n.2, p.292-303, 2009.

HILLIG, E.; SCHNEIDER, V.E.; WEBER, C.; TECCHIO, R.D. **Resíduos da atividade moveleira e de base florestal: caracterização e aproveitamento**. In: XXVI ENEGEP, Fortaleza – CE, 2006. Disponível em:

<http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2006_tr520346_8192.pdf>

Acesso em: 25 mai 2014.

HILLIS, W.E. **Wood extractives**. Academic Press. CSIRO Australia. 1962. 513p.

IAWA COMMITTEE. International Association of Wood Anatomists. List of microscopic features for hardwood identification. **IAWA Bulletin**, Leiden, v.10, p.220-332, 1989.

IWAKIRI, S. **A influência das variáveis de processamento sobre as propriedades das chapas de partículas de diferentes espécies de**

Pinus. 130f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989.

IWAKIRI, S.; LATORRACA, J.V.F.; SILVA, D.A.; GABARDO, J.L.; KLITZKE, R.J.; FOFANO JÚNIOR, A.; FABROWSKI, F.; INTERAMENSE, M.T. Produção de chapas de partículas de madeira aglomerada de *Pinus elliottii* (Engelm) e *Eucalyptus dunnii* (Maid). **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, Curitiba, v.15, n.1, p.33-41, 1996.

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

IWAKIRI, S.; SILVA, J.R.M. da; MATOSKI, S.L.S.; LEONHADT, G; CARON, J. Produção de chapas de madeira aglomerada de cinco espécies tropicais. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v.8, n.1, p.137-142, jan/dez 2001.

IWAKIRI, S.; SILVA, J. de C.; SILVA, J.R.M. da; ALVES, C.R.; PUEHRINGER, C.A. Produção de compensados de *Pinus taeda* L. e *Pinus oocarpa* Schiede com diferentes formulações de adesivo ureia formaldeído. **Revista Árvore**, Viçosa – MG, vol. 26, n.3, mai/jun 2002.

IWAKIRI, S.; SHIMIZU, J.; SILVA, J. de C.; DEL MENEZZI, C.H.S.; PUEHRINGER, 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**. Curitiba: FUPEF, 2005, 247p.

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

IWAKIRI, S.; STINGHEN, A.B.M.; SILVEIRA, E.L. da; ZAMARIAN, E.H.C.; PRATA, J.G. BRONOSKI, M. Influência da massa específica sobre as propriedades mecânicas de painéis aglomerados. **Revista Floresta**, Curitiba, v.38, n.3, p.487-493, jul/set 2008.

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

IWAKIRI, S. História, evolução, tecnologia e perspectivas. **Opiniões**, Ribeirão Preto, set/nov 2012.

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

IWAKIRI, S.; VIANEZ, B.F.; WEBER, C. TRIANOSKI, R.; ALMEIDA, V.C. Avaliação das propriedades de painéis aglomerados produzidos com resíduo de serrarias de nove espécies de madeiras tropicais da Amazônia. **Acta Amazônica**, Manaus, v.42, n.1, p.59-64, mar 2012b.

JOHNS, W. NIAZI, K. Effect of pH and buffering capacity of wood and the gelation time of urea formaldehyde resin. **Wood Fiber Science**, v.2, p.255-263, 1980.

KELLY, M.W. **Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboards**. USDA Forest Service. Forest Products Laboratory. General Technical Report FPL – 10, 1977. 66p.

KLOCK, U.; MUÑIZ, G.I.B.; HERNANDEZ, J.A.; ANDRADE, A.S.de. **Química da Madeira**. 3 ed. Curitiba: UFPR, 2005. 86p.

KOLLMANN, F.F.P.; KUENZI, E.W.; STAMM, A.J. **Principles of wood Science and technology**. Berlin: Springer – Verlag, v.2, 1975.

LIMA, A.M.; LIMA, R.M.; BRITO, E.O. Produção de aglomerados a partir de partículas “strand” combinadas com maravalhas. **Revista Universidade Rural**, Série Ciências da Vida, Rio de Janeiro, v.22, (suplemento), p.175-179, 2002.

LIMA, C.K.P.; MORI, F.A.; MENDES, L.M.; CARNEIRO, A. de 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.

LOBÃO, M.S.; CHAGAS, M.P.; COSTA, D. de S.P.; FERREIRA, A.T.B.; SETTE JÚNIOR, C.R.; CARVALHO, I.L.; TOMAZELLO FILHO, M. Agrupamento de espécies florestais pela similaridade das características físico-anatômicas e usos da madeira. **Cerne**, Lavras, v.16, Suplemento, p.97-105, jul 2010.

MAINIERI, C.; PRIMO, B.L. **Madeiras denominadas “angelim”**: estudo anatômico macro e microscópico. Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, publicação nº 769. 1964. 50p.

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

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

MALONEY, T.M. Resin distribution in layered particleboard. **Forest Products Journal**, v.20, n.1, p.43-52, 1976.

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**. 164f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1988.

MATOS, J.L.M.; KEINERT JR, S. Estudo do ciclo da prensa para a produção de painéis waferboards – Parte I – Efeito sobre as propriedades de resistência. **Revista Floresta**, Curitiba, v.18, n.12, 1988.

MATTOS, B.D.; GATTO, D.A.; STANGERLIN, D.M.; CALEGARI, L.; MELO, R.R.de; SANTINI, E.J. Variação axial da densidade básica da madeira de três espécies de gimnospermas. **Rev. Bras. Ciênc. Agrár.**, Recife, v.6, n.1, p.121-126, 2011.

MATTOS, R.L.G.; GONÇALVES, R.M.; CHAGAS, F.B. das. Painéis de madeira no Brasil: panorama e perspectivas. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n.27, p.121-156, mar. 2008.

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

MELO, R.R.; SANTINI, E.J.; HASELEIN, C.R.; STANGERLIN, D.M. Propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados produzidos com diferentes proporções de madeira e casca de arroz. **Ciência Florestal**, v.19, n.4, p.449-460, 2009.

MELO, R.R.; SILVESTRE, R.; OLIVEIRA, T.M.; PEDROSA, T.D. Variação radial e longitudinal da densidade básica da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. com diferentes idades. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v.4, n.1, p.83-92, mai 2013.

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, R.F. **Efeito do tratamento térmico sobre as propriedades de painéis OSB**. 116p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) –

Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

MENDES, R.F. Tendências do setor de painéis de madeira. **Opiniões**, Ribeirão Preto, set/nov 2012.

MENDES, R.F.; MENDES, L.M.; MENDONÇA, L.L.; GUIMARÃES JÚNIOR, J.B.; MORI, F.A. Qualidade de painéis aglomerados homogêneos produzidos com a madeira de clones de *Eucalyptus urophylla*. **Cerne**, Lavras, v.20, n.2, p.329-336, 2014.

MILOTA, M.R.; TSCHERNITZ, J.L.; VERRIL, S.P.; MIANOWSKI, T. Gas permeability of plantation loblolly pine. **Wood and Fiber Science**, Madison, v.27, n.1, p. 34-40, mar 1995.

MODES, K.S.; VIVIAN, M.A.; LILGE, D.S.; MELO, R.R. de; SANTINI, E.J.; HASELEIN, C.R. Utilização da madeira de canafístula (*Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub.) na confecção de chapas de madeira aglomeradas. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.22, n.1, p.147-159, jan-mar, 2012.

MOSLEMI, A.A. **Particleboard**. Illinois: Southern Illinois University, 1974. 244p.

MUÑIZ, G.I.B. de; NISGOSKI, S.; SCHARDOSIN, F.Z.; FRANÇA, R.F. Anatomia do carvão de espécies florestais. **Cerne**, Lavras, v.18, n.3, jul/set 2012.

NAUMANN, R.B.; VITAL, B.R.; CARNEIRO, A. de C.O.; DELLA LUCIA, R.M.; SILVA, J. de C.; CARVALHO, A.M.M.L.; COLLI, A. Propriedades de chapas fabricadas com partículas de madeira de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake e de *Schizolobium amazonicum* Herb. **Árvore**, Viçosa, v.32, n.6, p.1143-1150, 2008.

OLIVEIRA, J.T.; FREITAS, A.R. **Painéis à base de madeira**. Boletim técnico BT/PCC/149. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. EPUSP. 1995. 44p.

OLMOS, M.A.C. **Equipamento e processamento de fabricação de chapas aglomeradas a partir de resíduos de madeira**. 114p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1992.

PALERMO, G.P. de M.; LATORRACA, J.V. de F.; SEVERO, E.T.D.; REZENDE, M.A. de; ABREU, H. dos S. Determinação da densidade da madeira de *Pinus elliottii* Engelm., através de atenuação de radiação gama comparada a métodos tradicionais. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v.11, n.1, p.1-6, ago/dez 2004.

PAULA, J.E. de; SILVA JÚNIOR, F.G. da; SILVA, A.P.P. Caracterização anatômica de madeiras nativas de matas ciliares do centro-oeste brasileiro. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.58, p.73-89, dez 2000.

PEDRAZZI, C.; HASELEIN, C.R.; SANTINI, E.J.; SCHNEIDER, P.R. Qualidade de chapas de partículas de madeira aglomerada fabricadas com resíduos de uma indústria de celulose. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.16, n.2, p.201-212, 2006.

PEIXOTO, G.L.; BRITO, E.O. Avaliação da granulometria de partículas de *Pinus taeda* combinadas com adesivos comerciais para a fabricação de aglomerados. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v.7, n.1, p. 60-67, jan/dez 2000.

PEREIRA, J.C.D.; STURION, J.A.; HIGA, A.R.; HIGA, R.C.V.; SHIMIZU, J.Y. **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil**. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2000. 113p. (Documentos, 38).

PIERRE, F.C. **Caracterização físico-mecânica de painéis aglomerados de *Eucalyptus grandis* com adição de resíduos industriais madeireiros**. 122f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”, Botucatu, 2010.

PIERRE, F.C.; BALLARIN, A.W.; PALMA, H.L. Caracterização física de painéis aglomerados de *Eucalyptus grandis* com adição de resíduos industriais madeireiros. **Cerne**, Lavras, v.20, n.2, p. 321-328, abr/jun 2014.

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, 2004.

ROHWER, J.G. Borderline cases between *Ocotea*, *Nectandra* and *Phoebe* (Lauraceae): the “marginal” species of the *Ocotea helicterifolia*-group including the *Ocotea heydeana*-group. **Bot. Jahrb. Syst.** v.112, p. 365-397. 1991.

ROWELL, R.M. Composite materials from forest biomass: a review of current practices, science and technology. In: DIMITRIS S.A. (Ed.). **Materials, chemicals and energy from forest biomass**. North Carolina: ACS Publications, 2007. p.76-92.

SAMLAIC, J.C. As vantagens da pré-prensagem das chapas de madeira. **Revista da Madeira**, n.365, 1982.

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, Irati, 2012.

SANTINI JÚNIOR, L. **Descrição macroscópica e microscópica da madeira aplicada na identificação das principais espécies comercializadas no estado de São Paulo – Programas “São Paulo Amigo da Amazônia” e “Cadmadeira”**. 273f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz”, Piracicaba, 2013.

SANTOS ANDIRÁ – Santos Andirá Indústria de Móveis. **MDP – Painéis de Partículas de Média Densidade**. 2009. Disponível em: <<http://www.isa.com.br/index.jsp?view=387>> Acesso em: 18 mar 2014.

SANTOS, J.A.G. dos. **Estudo e Modelação do processo de fabrico de placas de madeira revestidas com folha de madeira natural**. 43f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Economia, Universidade do Porto, Porto, 2010.

SCHNEID, G.N. **Efeito da geometria das partículas e teores de resina nas propriedades físico-mecânicas em painéis de madeira aglomerada de *Pinus taeda***. 67f. Trabalho de Conclusão de Curso – Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2010.

SETTE JÚNIOR, C.R.; GEROMINI, M.P.; NAKAJIMA, N.Y. Quantificação de biomassa do tronco de *Pinus taeda* em plantios com diferentes idades na região de Rio Negrinho – SC. **Biomassa e Energia**, Viçosa, v.1, n.4, p. 343-346, 2004.

SETUNGE, S.; WONG, K.K.; JOLLANDS, M. Economic and environmental benefits of using hardwood sawmill waste as a raw material for particleboard production. **Earth and Environmental Science**, Edinburgh, v.9, n.5-6, p.485-494, 2009.

SILVA, D.A.L. **Avaliação do ciclo de vida da produção do painel de madeira MDP no Brasil**. 207f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

SILVA, M.R. **Determinação da permeabilidade em madeiras brasileiras de florestas plantadas**. 120f. Dissertação (Mestrado em Ciências de Engenharia de Materiais) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

STAMM, A.J. **Wood and cellulose Science**. The Ronald Press Company, New York, 1964, 549p.

STEWART, C.M.; KOTTEK, J.F.; DADSWELL, H.E.; WATSON, A.J. The process of fiber separation. III. Hydrolytic degradation within living trees and its effects on the mechanical pulping and other properties of wood. **Tappi** 44:11, p.798-813, 1961.

SUFFIAN, M.; ORMONDROYD, G.A.; HALE, M.D. Comparisons of particleboard produced from Acacia hybrid and a UK commercial particleboard furnish from recycled wood. **Journal of Tropical Forest Science**, Kepong, v.22, n.3, p.227-236, 2010.

TAPPI - Technical Association of the Pulp and Paper Industry. **TAPPI test methods T 222 om-88: Acid-insoluble lignin in wood and pulp**. Atlanta: Tappi Technology Park, 1993, 5p.

TAPPI - Technical Association of the Pulp and Paper Industry. **TAPPI test methods T 257 cm-85: sampling and preparing wood for analysis**. Atlanta: Tappi Technology Park, 1996.

TAPPI - Technical Association of the Pulp and Paper Industry. **TAPPI test methods T 264 om-88: preparation of wood for chemical analysis**. Atlanta: Tappi Technology Park, 1996.

TAPPI - Technical Association of the Pulp and Paper Industry. **TAPPI test methods T 413 om-93: Ash in wood, pulp, paper and paperboard: combustion at 900°C**. Atlanta: Tappi Technology Park, 1993.

TOMASELLI, I. **Tendências de mudanças na indústria de painéis**. Revista da Madeira, Caxias do Sul, p.36-40. 2000.

TRIANOSKI, R. **Avaliação do potencial de espécies florestais alternativas, de rápido crescimento, para produção de painéis de madeira aglomerada**. 260f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

TRIANOSKI, R.; IWAKIRI, S.; MATOS, J.L.M. de; PRATA, J.G. Viabilidade da utilização de *Acrocarpus fraxinifolius* em diferentes proporções com *Pinus spp.* para produção de painéis aglomerados. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.39, n.91, p. 343-350, set 2011.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure, properties, utilization**. New York: Chapman & Hall, 1991. 494p.

VALE, A.T. do; COSTA, A.F. da; GONÇALEZ, J.C.; NOGUEIRA, M. Relações entre a densidade básica da madeira, o rendimento e a qualidade do carvão vegetal de espécies do cerrado. **Árvore**, Viçosa, v.25, n.89, p.89-95, 2001.

VIGNOTE, P.S.; JIMÉNEZ, P.F.J. **Tecnología de la madera**. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 1996. 602p.

VITAL, B.R. **Effects of species and panel densities on properties of hardwood particleboard**. 111p. Dissertação (Magister in Forestry), University of Wisconsin, Madison – WI, 1973.

VITAL, B.R.; LEHMANN, W.F.; BOONE, R.F. How species and boards densities affect properties of exotic hardwood particleboards. **Forest Products Journal**, v.24, n.12, p.37-45. 1974.

WEBER, C. **Estudo sobre a viabilidade de uso de resíduos de compensados, MDF e MDP para produção de painéis aglomerados**. 90f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, 2011.

WU, Q. Application of Nelson's sorption isotherm to wood composities and overlays. **Wood and Fiber Science**, Pennsylvania, v.31, n.2, p.187-191, 1999.

XAVIER, J.A. **Variabilidade da massa específica básica de *Pinus taeda* L. em diferentes idades de plantio**. 31f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Industrial Madeireira) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

XING, C.; ZHANG, S.Y.; DENG, J. Effect of wood acidity and catalyst on UF resin gel time. **Holzforschung**, Berlin, v.58, p.408-412, 2004.

YUBA, A.N. **Cadeia produtiva da madeira serrada de eucalipto para produção sustentável de habitações**. 146f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

ZEGARRA, B.E.V. **Caracterização da estrutura anatômica e da densidade do lenho de árvores de *Pinus taeda* e efeito nas**

propriedades tecnológicas dos painéis OSB. 122f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

ZUMAETA, L.E.C. **Dendrocronología en árboles de Tornillo, *Cedrelinga cateniformis* Ducke (Fabaceae), del Centro de Investigaciones Jenaro Herrera en el noreste de la Amazonia, Región Loreto – Perú.** 129f. Dissertação – Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, 2009.