

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS

Centro de Engenharias



Monografia

Efeito da geometria das partículas e teores de resina nas propriedades físico-mecânicas em painéis de madeira aglomerada de *Pinus taeda*

Gunter Neutzling Schneid

Pelotas, 2010

GUINTER NEUTZLING SCHNEID

Efeito da geometria das partículas e teores de resina nas propriedades físico-mecânicas em painéis de madeira aglomerada de *Pinus taeda*

Trabalho acadêmico apresentado ao Curso de Engenharia Industrial Madeireira da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Industrial Madeireiro.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Érika da Silva Ferreira

Co-orientadora: Prof^a. Dr^a. Cristiane Pedrazzi

Pelotas, 2010

Banca examinadora:

Prof^a. Dr^a. Érika da Silva Ferreira (Centro de Engenharias - UFPel)

Prof^a. Dr^a. Estela Oliari Garcez (Centro de Engenharias - UFPel)

Prof. Dr. Leonardo da Silva Oliveira (Centro de Engenharias - UFPel)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
CENTRO DE ENGENHARIAS

A comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a monografia

**EFEITO DA GEOMETRIA DAS PARTÍCULAS E TEORES DE RESINA NAS
PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS EM PAINÉIS DE MADEIRA
AGLOMERADA DE *Pinus taeda***

Elaborado por

Günter Neutzling Schneid

como requisito parcial para a obtenção do título de

Engenheiro Industrial Madeireiro

COMISSÃO EXAMINADORA:

Érika da Silva Ferreira, Dr^a.
(Presidente/Orientadora)

Estela Oliari Garcez, Dr^a.
(1^a examinadora)

Leonardo da Silva Oliveira, Dr.
(2^o examinador)

Pelotas, 29 de Novembro de 2010.

DEDICO

*Aos meus queridos e amados:
pais, LAURO FRANCISCO e DORIS REGINA;
irmão, IGOR;
namorada, LUANA.*

AGRADECIMENTOS

À instituição, Universidade Federal de Pelotas, pelas oportunidades;

Às professoras, Érika da Silva Ferreira e Cristiane Pedrazzi, pela orientação;

Aos meus colegas, que ao longo de 5 anos se tornaram grandes amigos, em especial para Lucas Barbosa, Luiz Ciprandi, Rodrigo Damke e Vítor Lemos;

Às empresas Cambará S.A. e Hexion, por ceder o material para desenvolvimento do trabalho;

Aos professores e funcionários do Centro de Engenharias - UFPel, do Departamento de Zootecnia - UFPel e ao Departamento de Ciências Florestais - UFSM pelos conhecimentos transmitidos e a disponibilidade de utilização dos laboratórios;

Ao Luiz Ciprandi, Carolina G. Schneider, Lucas Barbosa, Wesley Moraes e Rafael Azambuja pela ajuda direta e fundamental no desenvolvimento dos experimentos;

Aos demais, que de alguma forma contribuíram para a minha formação.

Resumo

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

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a influência da geometria das partículas e teores de resina nas propriedades físico-mecânicas em painéis de madeira aglomerada de *Pinus taeda*. Para isso foram utilizados cavacos fora de classificação obtidos do picador de uma fábrica de celulose e papel. Foram produzidos 18 painéis variando a geometria das partículas, composição dos painéis e teor de resina (8 e 12%). Para manufatura dos painéis foram utilizados os seguintes parâmetros: pressão específica de 35 kgf/cm², temperatura de 180°C e tempo de prensagem de 8 minutos. Foram analisadas a razão de esbeltez e razão de planicidade. Posteriormente foram avaliadas as seguintes propriedades dos painéis: densidade aparente, flexão estática (MOE e MOR), resistência a tração perpendicular, absorção de água e inchamento em espessura no período de 2 e 24 horas, de acordo com a norma européia. Para absorção de água e inchamento em espessura, o efeito que teve maior influência foi a composição dos painéis. Em relação à resistência à tração perpendicular foi observada diferença estatisticamente significativa entre os resultados encontrados em relação ao teor de resina e composição do painel, sendo o efeito de maior interferência a composição dos painéis. Os resultados indicaram que o controle do processo é fundamental para obtenção de painéis com qualidades satisfatórias. O uso de resíduo para a produção de painéis é viável.

Palavras-chave: Resíduo. *Pinus taeda*. Geometria das partículas. Teor de resina. Propriedades de painéis aglomerados.

Abstract

SCHNEID, Ginter Neutzling. **Effect of particle geometry and resin content on the physical-mechanical properties of plywood panels made of *Pinus taeda***. 2010. 67f. Trabalho de Conclusão de Curso – Centro de Engenharias. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

This work was carried out to evaluate the influence of particle geometry and resin content in the physical-mechanical properties in plywood panels of *Pinus taeda*. Chips of wood out of classification obtain in the chopper of a pulp and paper factory were used for this intent. Eighteen panels were produced by varying the geometry of the particles, the composition of panels and the resin content (8 and 12%). To manufacture the panels the following parameters were used: specific pressure of 35 kgf / cm², 180 ° C of temperature and pressing time of 8 minutes. The ratio of slenderness and flatness were analyzed under this conditions. Later the following Panel properties were evaluated: apparent density, bending strength (MOR and MOE), tensile strength, swelling in thickness after immersion in water within 2 to 24 hours, according to European standards. For water absorption and swelling in thickness, the effect which has had the greatest influence was the composition of the panels. Regarding the tensile strength perpendicular it was observed meaningful statistical difference between the results found in relation to the resin content and panel composition, being the biggest interference effect the panel composition. Results indicated that process control is essential for obtaining panels with satisfactory qualities. The use of chips of wood for the production of panels is feasible.

Key words: Residue. *Pinus taeda*. Geometry of the particles. Resin content. Properties of particleboard.

Lista de figuras

Figura 1 - (a) Secagem ao ar livre; (b) Divisão superdimensionados e subdimensionados; (c) Moinho de martelo; (d) Secagem em estufa de circulação forçada.	26
Figura 2 - (a) Cavacos superdimensionados: esquerda Classe1, direita Classe2; (b) Cavacos subdimensionados: esquerda Classe1, direita Classe2.	27
Figura 3 - (a) Encoladeira de partículas; (b) Caixa formadora para prensagem a frio; (c) Prensagem definitiva a quente; (d) Painel formado.	28
Figura 4 - Layout de corte dos corpos de prova. A (Flexão estática); B (Resistência à tração perpendicular); C (Absorção de água, Inchamento em espessura e densidade); D (Material para contraprova). Escala 1:250.	30
Figura 5 - (a) e (b) Confeção dos corpos de prova; (c) Corpos de prova na sala de climatização.	31
Figura 6 - Composição x Teor de Resina para AA 2h.	37
Figura 7 - Composição x Teor de Resina para AA 24h.	37
Figura 8 - Composição x Teor de Resina para IE 2h.	39
Figura 9 - Composição x Teor de Resina para IE 24h.	40
Figura 10 - Composição x Teor de Resina para RTP.	42

Lista de tabelas

Tabela 1 - Propriedades da resina uréia-formaldeído utilizada na pesquisa....	23
Tabela 2 - Plano experimental.....	29
Tabela 3 - Valores médios para razão de esbeltez e razão de planicidade.	33
Tabela 4 - Valores médios para densidade aparente dos painéis aglomerados nos diferentes tratamentos avaliados.....	34
Tabela 5 - Valores médios para absorção de água em 2h (AA 2h) e absorção de água em 24h (AA 24h) avaliando-se os efeitos da composição do painel x teor de resina.	36
Tabela 6 - Valores médios para o Inchamento em espessura (IE) em 2h e 24h avaliando-se os efeitos da composição do painel x teor de resina.....	38
Tabela 7 - Valores médios de Resistência a tração perpendicular (RTP) avaliando-se os efeitos da composição do painel x teor de resina.....	41
Tabela 8 - Análise de variância para variável razão de esbeltez nos tratamentos avaliados.....	50
Tabela 9 - Análise de variância para variável razão de planicidade nos tratamentos avaliados.....	50
Tabela 10 - Análise de variância para variável densidade nos tratamentos avaliados.....	50
Tabela 11 - Análise de covariância para variável absorção de água em 2 horas nos tratamentos avaliados.....	51
Tabela 12 - Parâmetros estatísticos para a variável absorção de água em 2 horas.....	51
Tabela 13 - Análise de covariância para variável absorção de água em 24 horas nos tratamentos avaliados.....	52
Tabela 14 - Parâmetros estatísticos para a variável absorção de água em 24 horas.....	52
Tabela 15 - Análise de covariância para variável inchamento em espessura em 2 horas nos tratamentos avaliados.....	53
Tabela 16 - Parâmetros estatísticos para a variável inchamento em espessura em 2 horas.....	53
Tabela 17 - Análise de covariância para variável inchamento em espessura em 24 horas nos tratamentos avaliados.....	54
Tabela 18 - Parâmetros estatísticos para a variável inchamento em espessura em 24 horas.....	54
Tabela 19 - Análise de covariância para variável resistência a tração perpendicular nos tratamentos avaliados.....	55
Tabela 20 - Parâmetros estatísticos para a variável resistência a tração perpendicular.....	55

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1 Objetivo geral:.....	3
2.2 Objetivos específicos:	3
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
3.1 A espécie <i>Pinus taeda</i>	4
3.2 Painéis de madeira aglomerada.....	5
3.2.1 Classificação.....	7
3.2.2 Matéria-prima originada de toras	7
3.2.3 Uso de resíduos das indústrias de base florestal	8
3.2.4 Processo produtivo	9
3.3 Resina.....	11
3.3.1 Uréia-formaldeído	12
3.3.2 Influência das propriedades da resina	13
3.4 Parâmetros que influenciam nas propriedades dos painéis aglomerados	14
3.4.1 Densidade da madeira.....	14
3.4.2 Geometria das partículas.....	15
3.4.3 Umidade das partículas	16
3.4.4 Teor de resina.....	16
3.4.5 Umidade do colchão	17
3.4.6 Condições de prensagem	18
3.4.7 Densidade do painel	19
3.4.8 Razão de compactação	21
4. MATERIAL E MÉTODOS	23
4.1 Material	23
4.2 Resina.....	23
4.3 Determinação da densidade básica da madeira	24
4.4 Determinação da geometria das partículas.....	24
4.5 Processo produtivo	24
4.5.1 Preparação das partículas	25

4.5.2	Manufatura dos Painéis de Madeira Aglomerada	27
4.6	Delineamento experimental	29
4.7	Ensaio físico-mecânico.....	29
4.7	Análise estatística	31
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	33
5.1	Avaliação da geometria das partículas	33
5.2	Propriedades físicas.....	34
5.2.1	Densidade.....	34
5.2.2	Absorção de água (AA).....	35
5.2.3	Inchamento em espessura (IE)	38
5.3	Propriedades mecânicas.....	40
5.3.1	Resistência à tração perpendicular (RTP) à superfície do painel	40
6.	CONCLUSÕES.....	43
	REFERÊNCIAS.....	44
	APÊNDICE	50

1. INTRODUÇÃO

O termo aglomerado designa um painel formado com partículas oriundas de material ligno-celulósico, distribuído em uma matriz aleatória, com incorporação de resina sintética, sendo consolidado através da ação de pressão e temperatura.

A maioria dos processos tecnológicos empregados pelas indústrias de painéis de madeira possui rígidas exigências em relação à espécie, ao tamanho das partículas e à qualidade da matéria-prima (NAUMANN, 2007).

Desta forma, a tendência de utilização de resíduos fibrosos é crescente, pois, além de servir como matéria-prima para as indústrias, também possibilita uma produção ecologicamente eficiente e contribui na melhoria e na qualidade do produto final (PEDRAZZI, 2005).

A grande versatilidade de crescer e produzir madeira, assim como adaptabilidade a diversos ambientes, proporcionou o crescimento de plantios de *Pinus* spp. em várias regiões do país, em substituição às madeiras nativas. O desenvolvimento da tecnologia de utilização da madeira desse gênero e a ampliação das alternativas de uso tornaram essas espécies cada vez mais demandadas no setor florestal (MEDRADO, 2005).

Segundo Santini et al. (2000) a densidade básica média da madeira de *Pinus taeda* é de 0,41 g/cm³. Por ser uma madeira de baixa densidade, os painéis produzidos apresentam alta razão de compactação, que segundo Moslemi (1974) são excelentes para a produção de painéis de partículas por apresentarem ótima ligação interna e melhor aderência a resina.

A razão de compactação é a relação entre a densidade do painel e a densidade da madeira utilizada, sendo considerados como faixa aceitável os valores entre 1,3 a 1,6, para que ocorra um contato adequado entre as partículas de madeira e formação da ligação adesiva entre elas (MOSLEMI, 1974; MALONEY, 1993).

De acordo com Iwakiri (2005) a geometria é outro fator fundamental na tomada de decisão do processo, influenciando diretamente em duas variáveis, sendo elas, área de contato entre as partículas e consumo relativo de resina.

Alterando essa propriedade há a necessidade de se averiguar a melhor proporção de resina a serem utilizados, entre outras variáveis do processo produtivo (BATISTA et al., 2007).

Do controle destas variáveis dependem as propriedades de resistência e estabilidade dimensional dos painéis produzidos, sendo as mais importantes: módulo de elasticidade e de ruptura em flexão estática, ligação interna, resistência ao arranque de parafuso, absorção de água e inchamento em espessura (KOLLMAN, KUENZI e STAMM, 1975; TSOUKIS, 1991 apud IWAKIRI et al. 1999b).

A resina, uréia-formaldeído, apresenta algumas características que tornam seu uso largamente empregado na produção de aglomerados, tais como, solubilidade inicial em água, dureza, não ser inflamável, ter boas propriedades térmicas, ausência de cor quando curada, adaptabilidade a várias condições de cura e baixo custo na aquisição (PIZZI, 1994 apud ARRUDA, 2009).

Entretanto, essa resina apresenta baixa resistência a umidade, principalmente em combinação com calor (CONNER, 1996). De acordo com Campos e Lahr (2005) outro problema está relacionado à liberação de formaldeído durante o processo de prensagem a quente, que vem sendo muito combatido por órgãos de controle ambiental, devido à toxicidade desta substância.

Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira - ABIPA (2008), o cenário brasileiro atual de painéis de madeira reconstituída teve grande acréscimo sobre sua capacidade instalada. Com investimentos previstos da ordem de US\$ 1,2 bilhão, para o período de 2007/2010. A capacidade instalada brasileira de aglomerado dará um salto extraordinário de 3,2 milhões de m³ em 2008, para 5,2 milhões de m³, em 2012.

Nesse contexto, o presente estudo ressalta a importância de estudar a utilização do uso de resíduos na indústria de painéis de madeira aglomerada.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral:

Esta pesquisa tem como objetivo avaliar a influência da geometria das partículas e o efeito de diferentes teores de resina sobre as propriedades físicas e mecânicas de painéis de madeira aglomerada de *Pinus taeda*.

2.2 Objetivos específicos:

- Avaliar o comportamento dos resíduos (cavacos) da indústria de celulose e papel para a produção de painéis de madeira aglomerada;
- Avaliar o efeito das diferentes partículas e teores de resinas nas propriedades físicas e mecânicas dos painéis aglomerados;
- Estabelecer comparações dos resultados observados com a literatura e verificar o atendimento aos requisitos mínimos exigidos pela norma européia;

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 A espécie *Pinus taeda*

As plantas do gênero *Pinus* pertencem à família Pinaceae da ordem Pinales. A família Pinaceae compreende árvores resinosas ou raramente arbustos, com nove gêneros e 225 espécies encontradas, na maioria das vezes, em regiões temperadas do hemisfério norte. As folhas crescem espiraladas e em forma de agulha (MISSOURI BOTANICAL GARDEN - MBG, 2009).

As espécies de pinus que se destacaram, inicialmente, na silvicultura brasileira, foram *P. elliotii* e *P. taeda*, importadas dos Estados Unidos, visto que as atividades com florestas plantadas eram restritas às Regiões Sul e Sudeste. A partir dos anos 60, iniciaram-se as experimentações com espécies tropicais como *P. caribaea*, *P. oocarpa*, *P. tecunumanii*, *P. maximinoi* e *P. patula* possibilitando a expansão da cultura de *Pinus* em todo o Brasil, usando-se a espécie adequada para cada região (SHIMIZU, 2005).

A madeira de pinus possui coloração de cor clara, variando de branca a amarelada, coeficiente de anisotropia (relação entre as contrações tangencial e radial) entre médio a baixo (1,6 a 2,0) e sua madeira é muito utilizada para confecção de embalagens, tábuas, ripas, caibros, estacas, sarrafos, móveis, brinquedos, batentes, portas e etc. (SINCOL, 2008). De acordo com o uso futuro da madeira, deve-se levar em consideração as propriedades mecânicas e físicas, e estas podem variar entre espécies, idade da árvore, idade do lenho, etc.

Características como fácil trabalhabilidade, baixo consumo energético para sua obtenção, aspecto decorativo, dentre outras particularidades, fazem da madeira uma das matérias-primas mais utilizadas e apreciadas em todo o mundo. Somadas a essas vantagens, a possibilidade de produção sustentável e a absorção e fixação de CO₂ em seu processo produtivo vem tornando a madeira um material cada vez mais atraente do ponto de vista ambiental (ZENID, 2007).

Segundo Mello (2009), o emprego de elementos de madeira para produção de novos compostos permite utilizar matéria-prima de menor qualidade, de forma a adequar-se a realidade, especialmente aquela das florestas plantadas de ciclo curto. Além disso, torna possível o desenvolvimento de produtos engenheirados, mais homogêneos e de alto valor agregado.

Dossa (2005) comenta que os pinus em geral, são usados em vários segmentos industriais, devido ao seu crescimento rápido e boa qualidade da madeira. Estima-se que aproximadamente 3 mil empresas no Brasil, localizadas principalmente nas regiões Sul e Sudeste, utilizam os pinus nos seus processos produtivos, concentrando-se nos seguintes produtos: indústria de madeira serrada, celulose e papel, painéis – compensados, MDF e OSB (SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA - SBS, 2007).

Desde antigamente, a busca por novas fontes de matéria-prima passou a ser considerada de fundamental importância às indústrias madeireiras, pois a matéria-prima fibrosa constitui-se em um recurso escasso para as indústrias, seja em âmbito nacional ou mundial (COUTO, 1979).

Segundo Dacosta (2004), a matéria-prima pode resultar de madeira extraída dos reflorestamentos, bem como do aproveitamento de resíduos de indústria de base florestal ou de agricultura com a finalidade direta de abastecer as indústrias de painéis aglomerados.

As indústrias de aglomerados, MDF e OSB instaladas na região sul do país, utilizam quase que exclusivamente a madeira de pinus como matéria-prima. (IWAKIRI e SALDANHA, 2002).

3.2 Painéis de madeira aglomerada

O painel de madeira aglomerada, ou aglomerado, é formado por partículas de madeira. É tipicamente feito em três camadas. As faces do painel consistem de partículas mais finas e o interior é feito de material mais grosso. A madeira é picada, transformada em partículas as quais são submetidas à secagem. O material já seco recebe uma resina, em seguida, é prensado a certa temperatura e pressão, formam assim, o painel (TOMASELLI, 2000).

No geral, as espécies de pinus são preferidas para fabricação de aglomerados por causa da sua baixa massa específica, que segundo Moslemi (1974) é mais adequada para esse tipo de painel, porque eleva a razão de compactação, melhorando as propriedades mecânicas. Iwakiri et al. (2001) investigaram a utilização de cinco espécies de pinus (*Pinus oocarpa*, *P. caribaea*, *P. chiapensis*, *P. maximinoi* e *P. tecunumanni*) com 10 anos de idade, para a produção de aglomerados. Segundo os autores, não houve diferença estatística nas propriedades mecânicas entre as espécies.

Segundo Kollmann et al. (1975), algumas das principais características da madeira que afetam a adesão e colagem são a variabilidade, densidade, porosidade, permeabilidade, o pH e o teor de umidade sendo que algumas espécies apresentam maior facilidade de colagem que outras.

O princípio de fabricação faz com que o aglomerado apresente vantagens em relação a outros produtos compostos de madeira, e também a madeira serrada. Bodig e Jayne (1982) apresentam as seguintes vantagens:

- Eliminação de efeitos da anisotropia - as alterações dimensionais nas direções longitudinal e transversal dos painéis são iguais;
- A resistência do painel no sentido da largura e comprimento é similar;
- Eliminação de fatores redutores da resistência como nós, inclinação da grã, lenhos juvenil e adulto, entre outros;
- Controle das propriedades físico-mecânicas através das variáveis de processo como resina, geometria de partículas, grau de densificação, etc.;
- Menor exigência em termos de matéria-prima como diâmetro, forma do fuste e defeitos;
- Menor custo de produção e mão de obra.

3.2.1 Classificação

De acordo com a NBR 14810 - 2 (1999) os painéis de madeira aglomerada devem ser classificados fazendo-se referência a sua densidade, natureza da resina, geometria das partículas e características complementares.

O aglomerado é utilizado para uso interno, principalmente para fabricação de móveis, divisórias e componentes de aparelhos eletroeletrônicos (IWAKIRI et al., 1999b).

Os painéis aglomerados devem apresentar densidade média compreendida entre 0,59 a 0,80 g/cm³. Quanto à geometria das partículas, os painéis convencionais são produzidos com partículas tipo *sliver*, possuindo dimensões quadradas ou retangulares cortadas na seção paralela as fibras da madeira (NBR 14810 – 2, 1999).

Em relação à distribuição das partículas, Maloney (1993) apresenta três configurações básicas de painéis de aglomerado, sendo:

- Homogêneos - a mistura das partículas é distribuída ao acaso;
- Múltiplas camadas - partículas mais finas nas camadas das faces e mais grossas no miolo. Geralmente, adota-se de 15 a 20% de partículas finas em cada face, com o restante do material sendo feito de partículas grossas;
- Graduadas - partículas mais finas sobre as faces dos painéis, existindo uma variação gradativa do tamanho das partículas através das mais finas nas faces para as mais grossas no centro (miolo);

3.2.2 Matéria-prima originada de toras

Tendo em vista as dificuldades cada vez maiores na obtenção de matéria-prima para produção de painéis de aglomerados extraída de espécies

de florestas nativas, surgiu a necessidade de utilização de espécies alternativas para suprir a demanda por madeiras de boa qualidade (PEDRAZZI, 2005).

No Brasil, a madeira de florestas plantadas – em especial, de eucalipto e de pinus – constitui a principal fonte de matéria-prima (MATTOS et al., 2008).

Para isto, espécies de *Eucalyptus* spp e *Pinus* spp apresentam grande potencial para suprir essa demanda, em função das boas características da sua madeira, por serem espécies de rápido crescimento e também devido à disponibilidade de grandes áreas plantadas no Brasil (IWAKIRI et al., 2000).

Cabe destacar em 2006, a produção brasileira de madeira serrada atingiu 23,8 milhões m³, predominando a madeira tropical (14,7 milhões m³) frente à produção de madeira de pinus (9,1 milhões m³). Mas por outro lado, enquanto a produção de madeira serrada tropical cresceu 0,8% ao ano nos últimos 10 anos, a taxa de crescimento de madeira serrada de pinus foi de 6,2% ao ano no mesmo período (SBS, 2007).

3.2.3 Uso de resíduos das indústrias de base florestal

Segundo Maloney (1993), entre outras variedades de painéis, os aglomerados têm a vantagem de apresentar um menor rigor quanto à escolha de matéria-prima, quando comparada a outras variedades de painéis. O autor relata que, na produção desse tipo de painel, podem ser utilizados material florestal de desbaste e poda, resíduos industriais grosseiros (costaneiras, sobras de destopo, miolos de toras laminadas), resíduos industriais finos (pó-de-serra e cavacos de plainas), cavacos de madeira resultantes do beneficiamento na indústria de móveis e carpintaria.

O aproveitamento do material residual pelas indústrias é fundamental, possibilitando produzir de maneira ecologicamente correta e conservando a qualidade do produto final (PEDRAZZI, 2005).

No mundo são empregados, para produção de aglomerados, resíduos industriais de madeira, resíduos da exploração florestal, madeiras de qualidade

inferior, madeiras provenientes de florestas plantadas e reciclagem de madeira sem serventia (MATTOS et al., 2008).

As principais fontes de resíduos são as serrarias e os setores de picagem da madeira em fábricas de celulose e papel. Em ambos os casos, os resíduos fibrosos são separados e acumulados. A serragem de serrarias é heterogênea quanto à composição, pois serrarias trabalham geralmente com tipos diversos de madeira. Já a serragem da indústria de celulose é separada na classificação dos cavacos, sendo conhecida como “finos” (FOELKEL et al., 1979).

Os mesmos autores ressaltam que dentre os resíduos das indústrias de conversão de madeira, o que mais tem chamado a atenção para possível uso é a serragem. A serragem é um produto que ocorre em quantidade variável nas indústrias madeireiras, sendo, normalmente, descartada. Por esta razão, muitas empresas têm procurado transformar esse resíduo em fonte de lucro, utilizando-o como combustível, na fabricação de tipos inferiores de celulose e na fabricação de painéis.

Haselein et al. (2001) complementa mostrando que a serragem oferece inúmeras vantagens, tais como baixo custo e baixa densidade; porém, seu principal problema é a agregação. E o emprego desse material na matriz polimérica promove melhorias na performance do produto acabado.

De acordo com estudo realizado por Latorraca & Iwakiri (2000), a produção de painéis que possibilitam a utilização dos resíduos gerados tanto na exploração florestal como no processamento industrial. Essa prática pode resultar em aumento do valor agregado da madeira, que minimiza os depósitos de resíduos e possibilita a instalação de novas empresas, gerando receitas e novos empregos.

3.2.4 Processo produtivo

As propriedades de aglomerados dependem basicamente do tipo de partículas utilizadas. Sua preparação, desde o processo de geração das partículas, secagem, classificação até a incorporação da resina são os fatores

mais importantes na produção de aglomerado (KOLLMANN et al., 1975; OLMOS, 1992).

De acordo com Maloney (1996), o processo de produção dos painéis de partículas envolve as etapas apresentadas a seguir:

- a) Geração das partículas: a operação de geração de partículas é a fase do processo que define elementos dimensionais das partículas (comprimento, largura e espessura);
- b) Secagem das partículas: de acordo com Olmos (1992), o contínuo aumento em exigência na qualidade de aglomerados é uma das razões para manter o controle sobre o teor de umidade final das partículas;
- c) Classificação das partículas: segundo IWAKIRI (2005), a classificação é feita após a secagem. Para aglomerados, peneiras vibratórias e classificadores pneumáticos podem ser usados para a peneiração das partículas de diferentes tamanhos;
- d) Aplicação da resina: a próxima etapa é a incorporação de resina nas partículas. Segundo Maloney (1996) deve haver homogeneidade de distribuição da resina nas partículas para assegurar propriedades uniformes sobre toda a extensão do painel;
- e) Formação do colchão: esta etapa é extremamente importante, pois um painel mal formado apresentará grande variação nas suas propriedades devido a diferença de densidade em sua extensão (IWAKIRI, 2005);
- f) Prensagem: antes da prensagem é realizada uma pré-prensagem no colchão com o objetivo de reduzir sua altura e melhorar a sua manipulação. Em seguida, na prensagem a quente, ocorre a cura da resina, densificação e consolidação do painel até espessura final. A temperatura de prensagem para uréia-formaldeído é em

torno de 180°C, e a pressão nos pratos para a obtenção de painéis de densidade média situa-se na faixa de 1,2 a 4,0 MPa (IWAKIRI, 2005);

- g) Acabamento: os painéis são resfriados e acondicionados logo após a saída da prensa ou empilhadas ainda quentes para permitir a continuação do processo de cura da resina iniciado durante a prensagem a quente. O lixamento efetuado em painéis já esquadrejados tem por finalidade remover qualquer material solto da superfície bem como eliminar quaisquer riscos e irregularidades causados a superfície pelos pratos da prensa. Após o lixamento, os painéis são classificados, pré-cortados nas dimensões convencionais e armazenados adequadamente (DIAS, 2005).

3.3 Resina

Segundo BROWN et al. (1952) apud HILLIG (2000), a colagem da madeira está relacionada às forças de adesão e coesão. As teorias a respeito de como se processa o fenômeno de adesão são variadas, no entanto, é bastante aceita a teoria de que a adesão se processa por meio da atração molecular entre as superfícies de dois materiais. Considerando que a matéria existe em razão das forças de coesão entre moléculas e átomos de que é constituída, e que esta atração resulta de ligações químicas e cargas elétricas das moléculas participantes, pode-se dizer que as moléculas da superfície dos materiais possuem cargas livres capazes de atrair partículas de outros sólidos ou líquidos.

A resina é um componente importante, com implicações técnicas e econômicas significativas na utilização dos produtos a base de madeira (PIZZI, 1983). Estimativa de Carneiro et al. (2004), mostra o custo da resina podendo chegar até 50% do preço total do produto final.

Da mesma forma, Ginzel & Peraza (1966) apud Kollmann et al. (1975) explicam a influência da cola sobre a economia da indústria, destacando-se o

grande domínio que tem sobre as características do painel e suas futuras aplicações. Para Wilson e Krahmer (1976) apud MELO (2009), a escolha do tipo certo da resina e das quantidades aplicadas é de fundamental importância no processo de produção de painéis.

As principais resinas empregadas na fabricação de painéis à base de madeira são os sintéticos, destacando-se o fenol-formaldeído, o resorcinol-formaldeído, a uréia-formaldeído e a melamina-formaldeído (KOCH et al.,1987). Santos (2008) ainda destaca a utilização de difenil metano diisocianato.

3.3.1 Uréia-formaldeído

Também é conhecida como uma amino resina, por ser produto da reação entre grupos amina ou amida com aldeídos, geralmente o formaldeído. A resina de uréia-formaldeído é formada por uma reação complexa entre uréia e formaldeído, dividida em dois estágios. O primeiro estágio da reação é a hidroximetilação da uréia pela adição de formaldeído no grupo amina, onde ocorre uma mudança no pH. No segundo estágio ocorre a condensação de metil-uréias para polímeros de baixo peso molecular e essas reações ocorrem em meio ácido (CONNER, 1996).

De acordo com Pizzi (1983) a uréia-formaldeído é utilizada na fabricação de compensados e em maior proporção nos aglomerados. Esta resina apresenta coloração branco leitoso, pH na faixa de 7 a 8, teor de sólidos em torno de 65%. Sua cura é processada através da redução do pH (ácido) com a adição de catalisador. Na cura a quente, utiliza-se como catalisador o cloreto ou sulfato de amônia. Sua cura a quente é processada com temperatura de 95 a 120°C.

Franklin Adhesives (2003) alguns fatores que influenciam na colagem de madeiras, entre eles, as características físico-químicas da resina e a composição e características da madeira, merecem destaque.

Rayner (1968) apud Pedrazzi (2005) afirmou que a velocidade de cura para a resina uréia-formaldeído pode ser aumentada com uso de catalisadores

e com altas temperaturas, razão pela qual se adapta bem nas indústrias de painel de partícula, sendo que a temperatura de cura está em torno de 100°C.

Dentre as principais vantagens da utilização dessa resina, Maloney (1993) destaca: baixo custo; rápida reação em prensa quente; fácil manuseio; coloração incolor; dureza; não inflamável e; a solubilidade em água (satisfatória para produções em grande escala). Como principais desvantagens, apresentam uma baixa resistência à umidade e proporciona a liberação de formaldeído, o que pode ocasionar problemas a saúde humana.

Samlaic (1983), afirma que essas resinas possuem um sério inconveniente em virtude da emissão de formaldeído e seu emprego é problemático em países cujo controle ambiental é rigoroso.

Uma das alternativas para melhoria da estabilidade dimensional seria a adição de fenol, melamina ou até tanino, na composição da resina. A solução encontrada por Haselein & Pauleski (2003), é baixar a proporção de formaldeído em relação à quantidade de resina.

Segundo Kelly (1977) a resina uréia-formaldeído é a mais utilizada para o uso interior devido à baixa resistência à umidade e ao menor custo, e a fenólica, a mais adequada para manufatura de painéis para fins estruturais (*Oriented Strand Board* - OSB e *Waferboard*) e uso exterior devido à maior durabilidade e resistência.

A resina de uréia é a mais empregada por razões econômicas e tecnológicas. A manufatura de painéis de boa qualidade com o menor consumo de resina é o objetivo primordial dos fabricantes, devido principalmente ao alto custo representado pela mesma (IWAKIRI, 1995).

Seus principais usos incluem, trabalhos em marcenaria e fabricação de móveis e, em larga escala, a fabricação de aglomerados, MDF e compensados, podendo ser utilizados em todas as situações em que não fique exposto diretamente a umidade e a temperaturas superiores a 50°C (HASELEIN e PAULESKI, 2003).

3.3.2 Influência das propriedades da resina

Algumas características têm grande influência nas propriedades da resina. A viscosidade, o gel time, teor de sólidos e o pH se destacam.

A viscosidade de um líquido pode ser definida como a resistência ao fluxo livre entre camadas de uma matéria, ou ainda, a grandeza que caracteriza a existência de atrito entre as moléculas de um fluido e que se manifesta através do escoamento (IWAKIRI, 2005).

O mesmo autor define o tempo de formação de gel, ou gel time, como o tempo desde a preparação da resina para a sua utilização até o endurecimento (fase de gel), quando atinge a máxima elasticidade. A importância do “gel time” esta relacionada a vida útil da resina ou tempo de “panela”, quando se atinge o ponto de máxima viscosidade possível para a sua aplicação.

Outra característica, o teor de substâncias sólidas é definido como a quantidade de sólidos contidos na resina. Com a prensagem a quente, ocorre a evaporação dos componentes líquidos, “cura” e solidificação da resina, formando a linha de cola que é responsável pela ligação entre os substratos e transferência de tensões geradas no sistema madeira-linha de cola (IWAKIRI, 2005).

Em colagem de madeiras, é importante considerar também a influência do pH tanto da madeira como da resina. O pH da resina a ser utilizada na madeira não deve ultrapassar os limites extremos de 1,5 e 11, pois podem resultar na degradação das fibras e prejudicar a qualidade do produto colado. O pH baixo pode levar a formação excessiva de espuma na mistura, prejudicando a sua aplicação (DIAS, 2005).

3.4 Parâmetros que influenciam nas propriedades dos painéis aglomerados

3.4.1 Densidade da madeira

Na produção de painéis aglomerados a densidade do material tem influência significativa, de acordo com Moslemi (1974) painéis de partículas

produzidos com madeiras de baixa densidade possuem ótima ligação interna, módulo de elasticidade e de ruptura em flexão estática, entretanto possuem baixa resistência ao arrancamento de parafuso, absorção de água e inchamento e espessura.

O mesmo autor explica que painéis feitos com madeiras de menor densidade têm maior contato relativo entre as partículas o que resulta numa melhor aderência da resina às partículas.

3.4.2 Geometria das partículas

A qualidade dos painéis de madeira, especificamente os painéis de partículas, é em função da combinação de variáveis como a espécie de madeira escolhida, granulometria de partículas, umidade, entre outros (MENDES et al., 2001).

A geometria das partículas também influencia no desempenho das propriedades do aglomerado, principalmente das propriedades mecânicas. Partículas curtas e delgadas ajudam o preenchimento de lacunas e contribuem para o bom acabamento do painel, por exemplo, mas também influenciam no grau de contato entre elas, afetando negativamente a resistência do painel (MOSLEMI, 1974).

Vital et al. (1992) afirma que o uso de partículas curtas e espessas beneficia a resistência à tração perpendicular, porém ocasiona redução da tensão de ruptura e do módulo de elasticidade à flexão estática. Essas duas propriedades são melhoradas quando se aumenta o comprimento das partículas. Esse efeito é resultado de alterações na parte superficial e na flexibilidade das partículas, do consumo relativo da resina e da área de contato entre as partículas.

Segundo Haselein & Pauleski (2004), a forma das partículas influencia não só as propriedades físicas como as propriedades mecânicas dos painéis. O fator mais importante é a relação entre o comprimento e a espessura das partículas. A absorção d'água e, conseqüentemente, a expansão linear e o inchamento em espessura diminuem conforme esta relação aumenta. Por outro

lado, o módulo de elasticidade aumenta à medida que a relação comprimento/espessura aumenta.

3.4.3 Umidade das partículas

O teor de umidade das partículas é um dos mais importantes fatores na manufatura de aglomerados. O valor desejável, após o processo de secagem varia entre 3 a 6%, dependendo do tipo e da quantidade de resina (MOSLEMI, 1974).

Após a mistura das partículas com a resina, o teor de umidade do colchão eleva-se para uma faixa compreendida entre 8 e 14%. Teores de umidade fora dessa faixa resultam em painéis com reduzida qualidade (MOSLEMI, 1974).

Deve-se ressaltar que a secagem das partículas de madeira é uma importante operação, o qual pode limitar a capacidade produtiva das indústrias podendo ocasionar aumento no consumo energético final (ALBUQUERQUE, 2000).

3.4.4 Teor de resina

A quantidade de resina é um fator importante na fabricação de aglomerados. A quantidade a ser utilizada é determinada com base no peso seco das partículas, podendo variar de 5 a 10% (MALONEY, 1993).

Calegari et al. (2000) revelaram que o teor de resina afetou significativamente tanto a resistência à flexão, bem como a ligação interna e o inchamento em espessura dos painéis. Ocorreu uma diminuição da qualidade dos painéis pela redução do teor de resina.

Iwakiri (2005) afirma que as propriedades físico-mecânicas dos painéis são melhoradas com o aumento na quantidade de resina. No entanto, deve ser condicionada à otimização da relação custo-benefício, de acordo com a finalidade de uso e resistência mínima exigida.

Em estudo desenvolvido por Pizzi (1983), também foi constatado que com o aumento do teor de resina, independentemente de seu tipo, ocorre um acréscimo dos valores das propriedades mecânicas e estabilidade dimensional dos painéis.

3.4.5 Umidade do colchão

O teor de umidade do colchão de partículas modifica a pressão mínima requerida para aplicação sobre o material até atingir a espessura final do painel, sendo que, quanto maior a umidade, menor será a resistência do material à compressão e mais fácil será a consolidação do painel (MOSLEMI, 1974).

De maneira geral, o conteúdo de umidade do colchão deve ser tal que permita boa plasticidade das faces externas das partículas para conseqüente melhora nas propriedades de colagem. Este valor, porém, pode variar dependendo do tipo de resina utilizado, bem como de outros fatores, entre eles a madeira utilizada e a forma das partículas. Os autores comentaram que um aumento da umidade do colchão de 14 para 20% causa uma melhora na plasticidade das partículas (HILLIG, 2000).

Elevados teores de umidade do colchão durante a prensagem causam a formação de grande quantidade de vapor. Como a pressão é maior nas superfícies que no centro, o vapor tende a deslocar-se para o miolo do painel e, quando a prensa é aberta, sua descompressão pode causar um golpe de vapor, causando o estouro do painel. É importante considerar também que quanto maior a umidade do colchão maior o tempo de prensagem necessário (HILLIG, 2000).

Desta forma, deve-se estabelecer a umidade do colchão de tal forma que permita plasticidade das partículas suficiente para uma perfeita colagem e, de outra forma, exija o menor tempo de prensagem possível. Moslemi (1974) citou vários estudos, em diversas situações, onde conteúdos de umidade ideais variaram entre 8 e 18,5%. O autor também ressaltou que o conteúdo de umidade do colchão depende da natureza do processo produtivo, geometria

das partículas e densidade da madeira, entre outros, o que dificulta a definição de um valor genérico.

Perlac (1977) apud HILLIG (2000) confirmou, ainda, a importância de um gradiente de umidade entre as faces externas e o centro do painel para acelerar a transferência de calor. O autor concluiu que para obter melhores propriedades nos painéis e diminuir o tempo de prensagem, o melhor meio de obter o gradiente de umidade foi pulverizando água nas faces do colchão e não variando o conteúdo de umidade da resina ou das partículas.

3.4.6 Condições de prensagem

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: temperatura, pressão e tempo de prensagem. Esta fase do processo é conhecida como ciclo de prensa, onde ocorre a consolidação do material e na qual são definidas, em grande parte, as propriedades finais do produto (OLMOS, 1992).

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. Quanto maior for qualquer uma destas variáveis, maior será o tempo de prensagem.

Maloney (1993) resumiu os fatores que afetam a prensagem de painéis aglomerados. Segundo o autor, o tipo de resina, os catalisadores, a temperatura de prensagem, o tempo de fechamento da prensa, o tempo de prensagem, a pressão aplicada, a umidade do colchão, entre outros, afetam a prensagem e interagem entre si, determinando as suas condições finais. Assim, torna-se difícil determinar a prensagem com um padrão global ou mesmo com uma equação geral. Os fatores citados devem ser considerados separadamente e devem ser feitas referências às maiores interações, de maneira que se consiga as melhores condições de prensagem para o processo produtivo em questão.

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

O tempo de prensagem do painel está relacionado à espessura do painel, à temperatura de prensagem e, também, ao teor de umidade do colchão, o qual, por sua vez, é influenciado pelo teor de umidade das partículas (LEHMAN et al., 1973 apud HILLIG, 2000).

No caso de painéis de madeira, a cura completa ocorre após certo período em que a temperatura do miolo, parte mais distante dos pratos aquecidos da prensa, atinge temperaturas superiores a 100 °C. O período de tempo necessário para que o miolo do painel atinja a temperatura adequada para proporcionar a cura da resina é uma informação importante para estabelecer seu tempo de prensagem, determinando, conseqüentemente, a capacidade de produção (CALEGARI et al., 2000).

De acordo com Ginzler & Peraza (1966), para obter um ótimo efeito na fabricação de um painel de partículas, é necessário conhecer todos os fatores que influem sobre a elaboração, com a finalidade de poder regular o processo. Na prática, é preciso controlar os diferentes fatores para obter um painel de partículas com boas características, em um tempo mais curto possível. O processo mecânico de prensagem deve ser de tal forma que a compressão (fechamento da prensa) termine antes que se inicie a policondensação no interior do painel.

3.4.7 Densidade do painel

A densidade dos painéis é a medida de compactação individual das partículas no painel, e depende, principalmente, da densidade da madeira e da pressão aplicada durante a prensagem (VITAL et al., 1974).

A densidade é a variável mais importante a considerar na madeira, dela depende a boa qualidade do painel. Para melhorar as propriedades dos painéis, segundo Maloney (1993), o modo mais fácil é através do aumento do

peso específico do painel, isto será conseguido através da variação da razão de compactação.

A densidade do painel está relacionada com a densidade da madeira e a razão de compactação. Segundo (HASKELL e HEEBINK apud VITAL 1973), depende também da umidade do colchão e outros fatores. Assim como a densidade da madeira, a densidade do painel tem grande influência sobre as suas propriedades mecânicas, influenciando praticamente em todas observadas.

De acordo com Maloney (1993), o teor de umidade, e a sua distribuição no colchão contribuem significativamente para as propriedades finais dos painéis. Se ocorrer uma variação da densidade em relação às camadas que formam os painéis, as camadas com maior teor de umidade serão mais densificadas. Este painel apresentará maior resistência e rigidez à flexão do que os painéis prensados com um teor de umidade uniforme através do colchão.

Segundo Iwakiri et al. (2000), na produção de painéis de madeira aglomerada, o fator espécie está relacionado principalmente com a densidade da madeira. Desta maneira, a baixa massa específica da madeira é um dos principais fatores para a escolha de uma espécie para produção de aglomerados (MALONEY, 1993).

Basicamente, madeira leve produz painéis mais resistentes para uma mesma densidade de painel, porém obriga a maiores custos de transporte e armazenamento (HILLIG, 2000).

De acordo com estudos realizados por Moslemi (1974) e Maloney (1993) as propriedades físico-mecânicas de painéis são altamente influenciadas pela relação entre a densidade de painéis e a densidade da madeira utilizada.

Em relação à estabilidade dimensional, a influência da densidade do painel não é bem definida. Suchsland (1973) observou que a relação entre estas duas variáveis não é clara. Segundo o autor, sabendo que a quantidade de água adsorvida é diretamente proporcional a densidade básica da madeira, ocorreria em painéis de alta densidade inchar mais que painéis de baixa densidade, o que não é observado.

Tendo em vista que vários autores concordam pelo fato da absorção d'água decrescer com o aumento da densidade e que, praticamente, a densidade do painel não influi na expansão linear, não há muita clareza quanto à influência da densidade no inchamento em espessura (PEDRAZZI, 2005).

Vital (1973) apud Hillig (2000), avaliando a capacidade de utilização de várias espécies de madeira na produção de painéis aglomerados de três camadas, concluíram que as propriedades de resistência à flexão foram determinadas, em primeiro lugar, pela densidade das camadas externas dos painéis. A tensão perpendicular à superfície do painel foi determinada pela densidade da camada interna do painel, pela espécie de madeira e pela qualidade de colagem. Já as propriedades de absorção d'água e inchamento em espessura foram influenciadas, principalmente, pela espécie de madeira.

3.4.8 Razão de compactação

A razão de compactação é a razão entre a densidade do painel e a densidade da madeira, e, para painéis comerciais, seu valor é sempre maior que um. Isto porque 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 (VITAL, 1973).

Segundo Moslemi (1974) a baixa massa específica do material é um dos principais requisitos para a adequabilidade de uma espécie para produção de aglomerados.

De acordo com Iwakiri et al. (2008), painéis de elevada massa específica apresentam aumento do módulo de elasticidade, módulo de ruptura, ligação interna e compressão paralela.

A razão de compactação adequada para produção de aglomerados é na faixa de 1,3 a 1,6 e, portanto, espécies de baixa massa específica são as mais recomendadas. Valores acima de 1,6 podem melhorar as propriedades de resistência, mas por outro lado, o 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 (MOSLEMI, 1974).

De uma maneira sucinta, razões de compactação muito baixas não produzem bom contato entre as partículas, prejudicando a colagem e a resistência do painel. Também afetam a absorção d'água por permitir maiores espaços para a sua penetração. Em contra-partida, 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. Além disso, causam a produção de painéis de alta densidade o que, muitas vezes, torna o painel muito pesado (HILLIG, 2000).

Outro fator a considerar é que, durante a prensagem, a compactação do colchão de partículas promove deformações plásticas nestas, principalmente nas camadas externas, ocorrendo, assim, a sua densificação antes do miolo (GINZEL & PERAZA, 1966).

Segundo Hillig (2000), esta diferença de densidade entre as camadas é mais intensa quanto menor o tempo de fechamento da prensa, e é conhecida como gradiente de densidade. Este gradiente tem grandes efeitos sobre as propriedades dos painéis e, em geral, melhora suas propriedades. Isto porque uma maior densidade das camadas externas do painel causa uma melhora nas propriedades de resistência à flexão (módulos de ruptura e de elasticidade).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Material

Os resíduos de *Pinus taeda* utilizados neste estudo foram cedidos pela fábrica de celulose Cambará S.A., localizada no município de Cambará – RS.

Os cavacos classificados como fora do padrão, não sendo utilizados no processo de polpação da fábrica, foram utilizados para realização do presente estudo.

De modo geral, em fábricas de celulose, os cavacos que ficam retidos na peneira vibratória (*oversizes*) retornam para serem reprocessados, e os cavacos de pequenas dimensões (finos) são descartados ou incinerados para geração de energia. A variação da amostra obtida deve-se ao fato da empresa ter enviado ambas as dimensões.

Foram coletados aproximadamente 150kg de material, sendo posteriormente classificados pela diferença de tamanho.

4.2 Resina

Para produção dos painéis de madeiras aglomerada foi utilizada a resina uréia-formaldeído, doada pela empresa Hexion, localizada no município de Montenegro – RS.

No Laboratório de Adesivos para Madeira – LAM, do curso de Engenharia Industrial Madeireira – UFPel, foram determinadas as principais propriedades da resina, conforme pode ser observado na tab.1.

Tabela 1 - Propriedades da resina uréia-formaldeído utilizada na pesquisa.

Propriedades da resina Uréia-formaldeído	
pH	7,94
Viscosidade (mPa.s)	457,5
Geltime (s)	115
Densidade (g/cm³)	1,28
Teor de sólidos (%)	65,51

4.3 Determinação da densidade básica da madeira

Para determinação da densidade básica da madeira foram utilizados cinco cavacos de dimensões superiores (*oversizes*). Após a identificação, as amostras foram completamente saturadas e o seu volume, foi determinado pela variação de peso do líquido, em virtude da imersão de cada amostra de madeira em água, conforme descrito por Vital (1984). Em seguida as amostras foram encaminhadas a uma estufa a $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ até atingirem peso constante, para posterior determinação do peso anidro (0% de umidade). A densidade básica foi determinada pela razão entre o peso anidro e volume saturado de cada amostra.

4.4 Determinação da geometria das partículas

Para determinação da geometria das partículas, foi utilizado um paquímetro digital. Foram escolhidas, aleatoriamente, amostras das classes 1 e 2, devidamente processadas e classificadas. Anotaram-se as medidas, das partículas, no sentido do comprimento, largura e espessura. A esbeltez das partículas é obtida pela razão entre o comprimento e espessura. Já a planicidade se dá pela razão entre a largura e espessura.

4.5 Processo produtivo

O processo de preparação do material foi realizado na Universidade Federal de Pelotas. Esta preparação incluiu: *i*) secagem ao ar livre: o material foi seco até atingir a umidade de equilíbrio com o ambiente; *ii*) geração das partículas no moinho de martelo; *iii*) secagem em estufa até teor de umidade de 3% e *iv*) classificação das partículas usadas em diferentes geometrias (Classe 1 e Classe 2). No Laboratório de Produtos Florestais da Universidade Federal de Santa Maria foram realizadas as seguintes etapas: *v*) produção dos painéis,

vi) corte dos corpos de prova e *vii*) determinação das propriedades físico-mecânicas.

4.5.1 Preparação das partículas

Os cavacos foram espalhados, em local aberto, sobre uma lona plástica para realização da secagem ao ar livre (fig.1a), o teor de umidade nesta etapa foi em torno de 30%. Este procedimento teve como objetivo diminuir a umidade inicial dos cavacos para facilitar o processo de fragmentação, evitando-se assim, o acúmulo e entupimento do moinho, melhorando a homogeneidade das partículas e diminuindo a formação excessiva de finos.

Antes da fase do processo de moagem (fig.1b), o material (100%) foi classificado em cavacos superdimensionados (aproximadamente 30%) e cavacos subdimensionados (aproximadamente 60%), sendo o restante finos e cavacos com presença de nós.

Após esta etapa o material foi encaminhado ao Laboratório de Ensino e Experimentação da Zootecnia, do curso de Medicina Veterinária da UFPel, para utilização do moinho de martelo (fig.1c). Pelo fato do moinho ser utilizado para produção de ração, foi necessária a realização de limpeza minuciosa a fim de retirar qualquer vestígio de material indesejado que poderia contaminar as partículas.

Logo após, as amostras foram secas em estufa com circulação forçada de ar mantendo-se a temperatura de 65°C. Esta etapa foi desenvolvida no Laboratório de Secagem da Madeira, do curso de Engenharia Industrial Madeireira da UFPel, até o teor de umidade próximo a 3% (fig.1d).



Figura 1 - (a) Secagem ao ar livre; (b) Divisão superdimensionados e subdimensionados; (c) Moinho de martelo; (d) Secagem em estufa de circulação forçada.

Posteriormente, no Laboratório de Engenharia de Pós-colheita do curso de Engenharia Agrícola da UFPel, o material foi peneirado e classificado, numa peneira vibratória elétrica, em duas classes. As partículas retidas na peneira oval de 3 x 2mm, constituíram a **Classe 1**. Partículas menores, que passaram pela peneira retangular de 1,6 x 12mm, constituíram a **Classe 2**. Sendo os finos descartados. Na fig.2 observa-se essa diferenciação.



Figura 2 - (a) Cavacos superdimensionados: esquerda Classe1, direita Classe2; (b) Cavacos subdimensionados: esquerda Classe1, direita Classe2.

Ao final do processo de classificação, foram selecionadas aleatoriamente algumas amostras para medição do comprimento, largura e espessura e posterior determinação da razão de esbeltez e planicidade das partículas.

4.5.2 Manufatura dos Painéis de Madeira Aglomerada

Foi utilizada uma planilha de cálculos para que no momento da produção dos painéis fosse obtida a quantidade exata de cada componente no respectivo tratamento, alcançando uma densidade nominal de $0,80 \text{ g/cm}^3$. Cada painel foi preparado com 1216 g e para evitar perda de material retido na encoladeira, adicionou-se 10% a mais de material.

Os painéis foram consolidados em uma prensa hidráulica da marca OMECO, de acordo com os seguintes parâmetros: pressão específica de 35 kgf/cm^2 , temperatura de 180°C e tempo de prensagem de 8 minutos (fig.3c).

Para isso, foi pesado cada componente necessário para manufatura de cada tratamento. As partículas foram inseridas em uma encoladeira de partículas giratória (fig.3a), sendo a resina, o catalisador e a água misturados e injetados por meio de uma pistola de pressão, localizada no interior do equipamento.

Posteriormente, pesou-se a quantidade de material, retirado da encoladeira, para formar um painel. Este então foi acomodado em uma caixa formadora de 40 x 40 x 20 cm, a qual passou por um processo de uma pré-prensagem (fig.3b), com o objetivo de reduzir a altura do colchão, melhorar a resistência e facilitar o transporte para a prensa quente.

Utilizaram-se placas de alumínio nas superfícies para evitar o contato direto do colchão com os pratos quentes da prensa. Juntamente, foram colocadas folhas de papel manteiga em ambos os lados para eliminar a adesão do material nas placas. Dois espaçadores com 9,5mm foram inseridos na lateral do painel pré-prensado, para que no momento da prensagem a quente o painel alcançasse a espessura desejada (fig.d).



Figura 3 - (a) Encoladeira de partículas; (b) Caixa formadora para prensagem a frio; (c) Prensagem definitiva a quente; (d) Painel formado.

Concluído a manufatura, os painéis foram devidamente identificados, sendo armazenados em uma câmara climatizada com umidade relativa de 65% \pm 5% e temperatura de 20°C \pm 3°C.

4.6 Delineamento experimental

A tab.2 apresenta os seis tratamentos utilizados nesta pesquisa, para cada tratamento foi feito três repetições, resultando num total de dezoito painéis produzidos. As dimensões de cada painel eram de 40 x 40 x 0,95 cm, com densidade nominal aparente de 0,8 g/cm³.

Tabela 2 - Plano experimental.

Tratamento	Painel	Teor de resina (%)
T1	Homogêneo Classe1	8
T2	Homogêneo Classe1	12
T3	Homogêneo Classe2	8
T4	Homogêneo Classe2	12
T5	Multicamadas 25:50:25	8
T6	Multicamadas 25:50:25	12

4.7 Ensaio físico-mecânicos

Após a climatização, os painéis foram cortados na marcenaria da UFSM para a confecção dos corpos de provas seguindo o layout de corte, apresentado na fig.4, fig.5a e fig.5b.

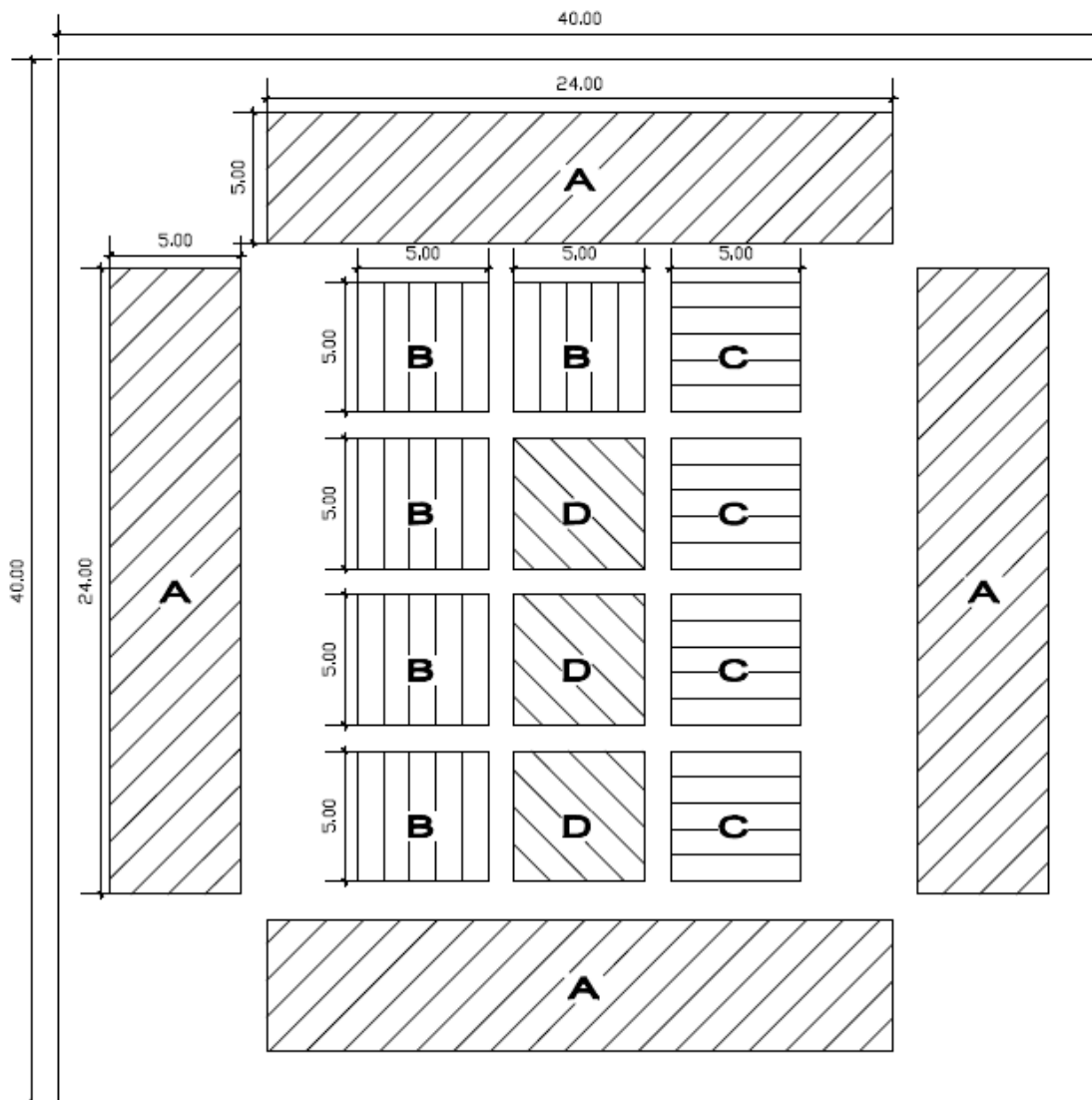


Figura 4 - Layout de corte dos corpos de prova. A (Flexão estática); B (Resistência à tração perpendicular); C (Absorção de água, Inchamento em espessura e densidade); D (Material para contraprova). Escala 1:250.

Após corte, os corpos de prova retornaram para a climatização (fig.5c).



Figura 5 - (a) e (b) Confeção dos corpos de prova; (c) Corpos de prova na sala de climatização.

Os seguintes ensaios foram realizados: flexão estática (módulo de ruptura - MOR – e módulo de elasticidade - MOE) – EN 310 (1993); resistência à tração perpendicular – EN 319 (1993), absorção de água e inchamento em espessura (2h e 24h) – EN 317 (1993) e densidade – EN 323 (1993).

Devido a problemas relacionados com o manuseio e calibração da máquina de ensaios, não foi possível executar com exatidão o ensaio de flexão estática, optando-se por excluir essa propriedade da análise estatística.

4.7 Análise estatística

O experimento caracterizou-se por um delineamento inteiramente casualizado em arranjo fatorial composto por dois fatores, sendo eles: dois níveis de resinas (8 e 12%) e três tipos de composição dos painéis, onde cada interação sofreu três repetições, perfazendo um total de 18 painéis.

A normalidade dos dados foi avaliada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov e a verificação da homogeneidade das variâncias pelo teste de Hartley.

Os dados referentes à razão de compactação, razão de planicidade e densidade aparente dos painéis de madeira aglomerada foram submetidos à análise de variância para delineamentos inteiramente casualizado em arranjo convencional.

As propriedades físicas e mecânicas dos painéis para os seis tratamentos avaliados foram submetidos à análise de covariância para experimentos fatoriais. Havendo rejeição da hipótese de nulidade pelo teste F, aplicou-se o Tukey ao nível de 5% de significância para comparação entre as médias e avaliação dos efeitos. A última etapa da análise estatística se caracterizou pela análise gráfica da interação dos efeitos.

A utilização da análise de covariância neste trabalho é justificada pela dificuldade de controle rigoroso da densidade dos painéis durante o processo de produção em laboratório, e principalmente da insuficiente compressão do painel na prensa a quente, ocorrida em alguns tratamentos avaliados. Desta forma houve necessidade de ajuste dos valores das propriedades em torno de uma densidade média encontrada para todo conjunto de dados.

O programa estatístico utilizado para o processamento das variáveis foi o *Statgraphics Centurion* versão XV.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Avaliação da geometria das partículas

As diferentes espessuras, comprimentos e larguras das partículas influenciam sobre a razão de esbeltez, que é a relação entre comprimento e a espessura das partículas e sobre a razão de planicidade, dado pela relação entre largura e a espessura.

Na tab.3 são apresentados os valores médios das classes de partículas avaliadas.

Tabela 3 - Valores médios para razão de esbeltez e razão de planicidade.

Classe	Razão esbeltez	C.V. (%)	Razão planicidade	C.V. (%)
C1	5,69 ^b	15,90	1,70 ^b	28,61
C2	9,70 ^a	23,07	2,83 ^a	40,51

Nota: C.V.: coeficiente de variação; Médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5 % de significância pelo teste Tukey.

Os valores médios observados para razão de esbeltez e planicidade das partículas nas diferentes classes avaliadas são diferentes estatisticamente (APÊNDICE ANOVA – tab.8 e tab.9).

Observa-se um valor extremamente baixo para a variável razão de esbeltez, este fato se justifica pela ocorrência de problemas relacionados a manutenção (afiação das lâminas da faca) do moinho de martelo utilizado para realizar a fragmentação dos cavacos utilizados neste experimento. Portanto, as partículas geradas não se enquadram no padrão necessário para a produção de painéis aglomerados.

Iwakiri (1989), avaliando a influência dessa variável nas propriedades de painéis aglomerados, encontrou para partículas *silver* valores variando entre 30 a 48.

Devido às mesmas condições do equipamento, para a razão de planicidade o resultado não diferiu. O valor fora do padrão se mantém,

evidenciando o erro sistemático. Iwakiri (1989), para partículas *sliver* observou um valor de 7,04.

As variáveis geradas, em função do tipo de partícula utilizada, serão fundamentais para analisar os diferentes comportamentos dos painéis nos ensaios físico-mecânicos.

5.2 Propriedades físicas

5.2.1 Densidade

A densidade básica média observada para o resíduo de *Pinus taeda* foi $0,33 \pm 0,06$ g/cm³. Resultados similares aos encontrados por Higa et al.(1973) que notificaram para a mesma espécie o valor de 0,35 g/cm³. Esse pequeno desvio no valor pode ser atribuído a desuniformidade dos cavacos utilizados para determinação da densidade.

Os valores médios para a variável densidade aparente nos diferentes tratamentos avaliados, para os painéis aglomerados produzidos, são apresentados na tab.4, com variação entre 0,59 e 0,90 g/cm³.

Tabela 4 - Valores médios para densidade aparente dos painéis aglomerados nos diferentes tratamentos avaliados.

Tratamento	Dens (g/cm ³)	C.V. (%)
T1	0,90 ^a	11,47%
T2	0,90 ^a	6,37%
T3	0,67 ^c	4,19%
T4	0,59 ^d	12,53%
T5	0,79 ^b	7,69%
T6	0,86 ^a	4,86%

Nota: C.V. = coeficiente de variação; Médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5 % de significância pelo teste Tukey.

Os valores médios observados para a densidade aparente dos painéis nos diferentes tratamentos se diferem estatisticamente ao nível de 5% de significância (APÊNDICE ANOVA – tab.10).

Essa variação encontrada nos valores das densidades oriundos dos painéis pode ser justificada pela dificuldade em manter um controle rigoroso sobre algumas variáveis do processo. Apesar de apresentar boa razão de compactação, a má distribuição das partículas na pré-prensagem, tempo de fechamento da prensa insuficiente e a razão de esbeltez fora do aceitado são fatores que podem ter sido decisivos para a elevada variabilidade na densidade.

A densidade no tratamento T4 foi a que mais diferiu do esperado. Este erro se deu pelo fato da espessura ter ficado acima do estipulado, ocasionado devido à pressão aplicada no processo não ter compactado suficientemente o painel. O resultado mais satisfatório foi observado no tratamento T5, onde ocorreu uma melhor compactação do painel, valor próximo da densidade nominal.

No geral, as densidades dos painéis produzidos ficaram ligeiramente abaixo do valor estipulado, devido à dificuldade no controle de condições mencionadas anteriormente. Além disso, os painéis apresentaram a tendência de liberar tensões de prensagem causando aumento em espessura.

Esse fato foi constatado na maioria dos corpos de prova, com maior intensidade nos tratamentos T3 e T4. Pode-se atribuir a mais uma variável essa interferência com mais ênfase nesses dois tratamentos. O tempo de fechamento da prensa foi menor comparado ao tratamento com partículas homogêneas (T1 e T2).

5.2.2 Absorção de água (AA)

A tabela abaixo mostra os valores de absorção de água (AA) 2h e 24h em função da composição do painel e teor de resina.

Tabela 5 - Valores médios para absorção de água em 2h (AA 2h) e absorção de água em 24h (AA 24h) avaliando-se os efeitos da composição do painel x teor de resina.

Composição	AA 2h (%)	AA 24h (%)
1	114,22 ^c	132,48 ^c
2	188,83 ^a	197,74 ^a
3	150,55 ^b	164,07 ^b
Teor de resina	AA 2h (%)	AA 24h (%)
8	153,75 ^a	167,54 ^a
12	148,65 ^b	161,99 ^b

Nota: Médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5 % de significância pelo teste Tukey.

Os valores observados para a variável absorção de água em 2 horas variaram de 114,22% a 188,83% e em 24 horas 132,48% a 197,74%.

Os valores médios observados para absorção de água dos painéis nos diferentes tratamentos se diferem estatisticamente ao nível de 5% de significância (APÊNDICE ANCOVA – tab.11 e tab.13).

Analisando o efeito composição, ocorreu diferença significativa entre as diferentes composições dos painéis. A absorção de água nos painéis homogêneos (1), produzidos com partículas maiores, foi a que obteve melhor resultado. O pior resultado ocorreu na composição 2, devido ao menor tamanho das partículas.

Os resultados observados para 24h de imersão seguem os mesmos padrões evidenciados para a variável resposta AA 2h.

Avaliando-se o efeito teor de resina nota-se que houve diferença estatisticamente significativa (APÊNDICE ANCOVA – tab.11 e tab.13) entre os resultados avaliados, tanto para AA 2h quanto para AA 24h. Melhor resultado se deu utilizando 12% de teor de resina. O período de 24h segue o mesmo padrão.

As fig.6 e fig.7, respectivamente, demonstram a interação das duas variáveis resposta para absorção de água em 2 e 24 horas.

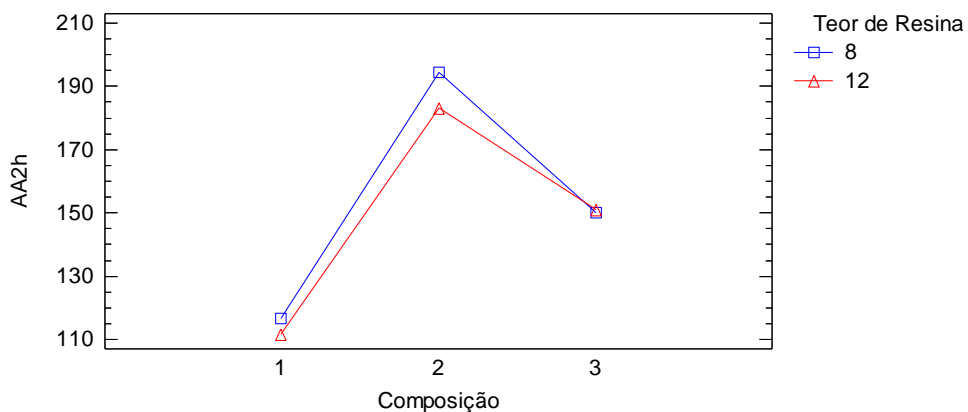


Figura 6 - Composição x Teor de Resina para AA 2h.

A interação dos efeitos (teor de resina x composição) nos painéis avaliados para a variável resposta absorção de água em 2 horas não foram estatisticamente significativos (APÊNDICE ANCOVA – tab.11).

Analisando-se a interação na fig 6, fica evidente uma tendência de maior absorção de água ocorrendo no tratamento com 8% de resina em partículas de menor dimensão (composição 2). Os resultados mais satisfatórios foram observados nas composições 1 e 3 com 12% de resina.

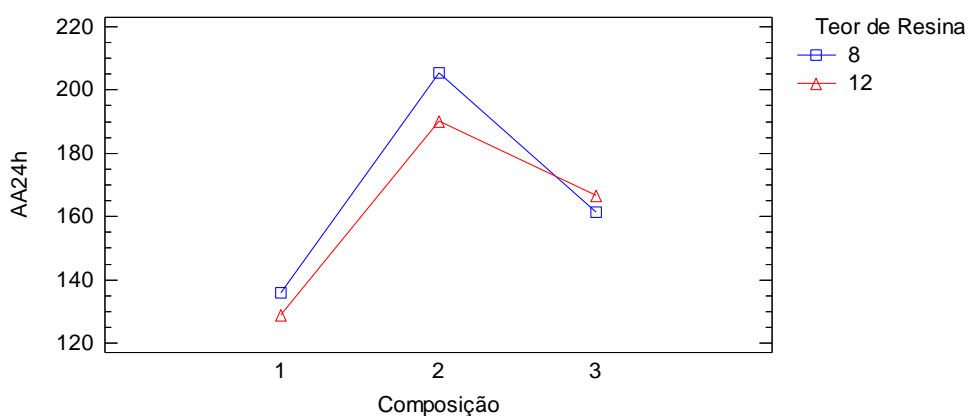


Figura 7 - Composição x Teor de Resina para AA 24h.

A interação dos efeitos (teor de resina x composição) nos painéis avaliados para a variável resposta absorção de água em 24 horas foram estatisticamente significativos (APÊNDICE ANCOVA – tab.13).

Na fig.7, observa-se que os tratamentos com 12% de teor de resina, apresentaram melhores valores de absorção. Pois segundo Iwakiri et al. (2000), a utilização de uma maior quantidade de resina reduz a absorção de água dos painéis. Este fato pode ser atribuído ao maior recobrimento das partículas com resina e à melhor impermeabilização superficial das mesmas, contribuindo para diminuir a absorção d'água.

5.2.3 Inchamento em espessura (IE)

Os valores médios de inchamento em espessura em 2 e 24h são apresentados na tab.6.

Tabela 6 - Valores médios para o Inchamento em espessura (IE) em 2h e 24h avaliando-se os efeitos da composição do painel x teor de resina.

Composição	IE 2h (%)	IE 24h (%)
1	21,52 ^b	24,78 ^b
2	35,02 ^a	38,68 ^a
3	33,76 ^a	37,60 ^a
Teor de Resina	IE 2h (%)	IE 24h (%)
8	30,29 ^a	33,55 ^a
12	29,92 ^a	33,83 ^a

Nota: Médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5 % de significância pelo teste Tukey.

Os valores encontrados para o inchamento em espessura em 2 horas variaram entre 21,52% e 35,02% e de 24,78% a 38,68% em 24 horas.

Avaliando-se a variável inchamento em espessura, em 2 e 24 horas (APÊNDICE ANCOVA tab.15 e tab.17), os resultados diferiram-se estatisticamente, para o efeito composição dos painéis de acordo com o teste

de médias empregado. no efeito teor de resina não ocorreu diferença estatística ao nível de 5% de significância.

Para o efeito composição dos painéis em 2h de imersão, o melhor resultado aconteceu usando painel homogêneo (1), com partículas maiores. Em relação a composição 2 e 3, ambas, mantiveram o mesmo padrão estatístico, porem diferiram quando comparado a composição 1. O pior foi constatado utilizando partículas menores, painel homogêneo (2). Os mesmos resultados estatísticos se repetem para o período de 24h.

Analisando o segundo efeito, o melhor resultado ocorreu para painéis produzidos com 12% de teor de resina em ambos os períodos de imersão.

A fig.8 mostra a interação das duas variáveis para a variável inchamento em espessura em 2 horas e a fig.9 para 24h.

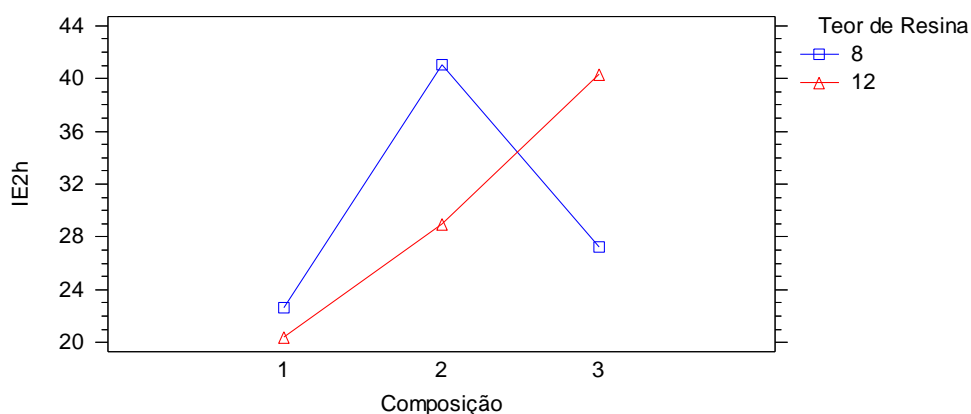


Figura 8 - Composição x Teor de Resina para IE 2h.

Para o inchamento em espessura em 2h o efeito que apresentou maior influência nos tratamentos foi a composição das partículas. O comportamento se mantém uniforme quando foi utilizado, somente, as partículas de classe 1 e classe 2.

No painel multicamada (composição 3) ocorre uma inversão nos valores, divergindo do padrão, em especial utilizando o teor de resina de 8%. Esse fato pode ser atribuído pela pressão inadequada, aplicada durante o processo de consolidação do painel e, principalmente, ao espalhamento

desuniforme da resina aplicada no tambor rotativo. Resultando em grumos com quantidade elevada de resina, impedindo um maior inchamento em espessura.

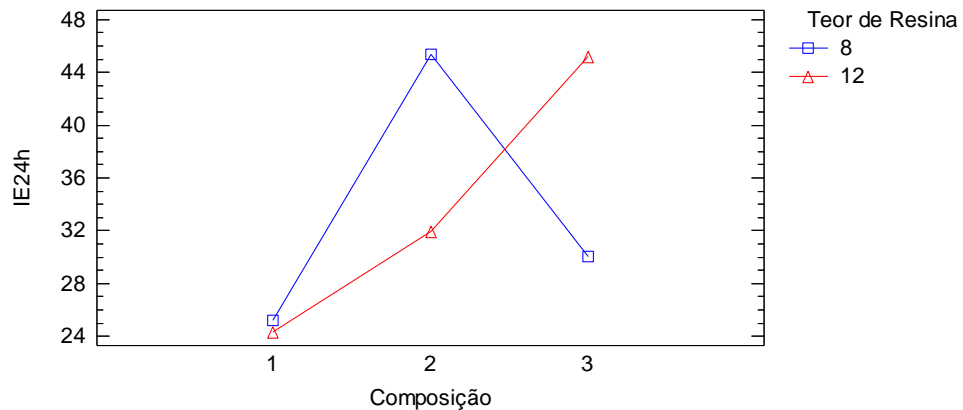


Figura 9 - Composição x Teor de Resina para IE 24h.

A mesma tendência de comportamento pode ser observada na fig. 9 para variável inchamento em espessura após 24 horas. Segundo Iwakiri et al. (2000), atribui-se o menor valor de inchamento em espessura para painéis com menor absorção d'água devido à maior cobertura superficial das partículas com resina.

5.3 Propriedades mecânicas

5.3.1 Resistência à tração perpendicular (RTP) à superfície do painel

A partir desse ensaio pode-se avaliar a adesão interna das partículas. A tab.7 apresenta os valores médios para as diferentes composições e teores de resina avaliados.

Tabela 7 - Valores médios de Resistência a tração perpendicular (RTP) avaliando-se os efeitos da composição do painel x teor de resina.

Composição	RTP (MPa)
1	0,21 ^a
2	0,15 ^b
3	0,13 ^b
Teor de Resina	RTP (MPa)
8	0,18 ^a
12	0,16 ^b

Nota: Médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5 % de significância pelo teste Tukey.

Os valores observados para resistência à tração perpendicular variaram de 0,13 a 0,21 MPa.

Os resultados encontrados para a variável resposta resistência à tração perpendicular apresentou diferença estatisticamente significativa ao nível de 5% de significância (APÊNDICE ANCOVA – tab.20).

A RTP nos painéis homogêneos (2), produzidos com partículas de menor tamanho, foi estatisticamente igual a variação da composição no painel multicamada (3). Porém ocorreu diferença significativa entre os painéis homogêneos produzidos com partículas maiores (1) e o restante das variações da composição. Painéis produzidos com partículas maiores tiveram desempenho melhor.

Relativo ao efeito do teor de resina manteve-se a diferença estatística entre a variação testada nos painéis. Utilizando 8% obteve-se um ligeiro ganho na ligação interna.

A norma europeia, EN 312 (2003), apresenta como requisito valores mínimos de 0,40 MPa. Levando-se em consideração os resultados encontrados neste trabalho observa-se que não foi atendida a exigência mínima da referida norma para esta propriedade avaliada.

Na fig.10 observa-se a interação das duas variáveis estudadas relacionada com a ligação interna.

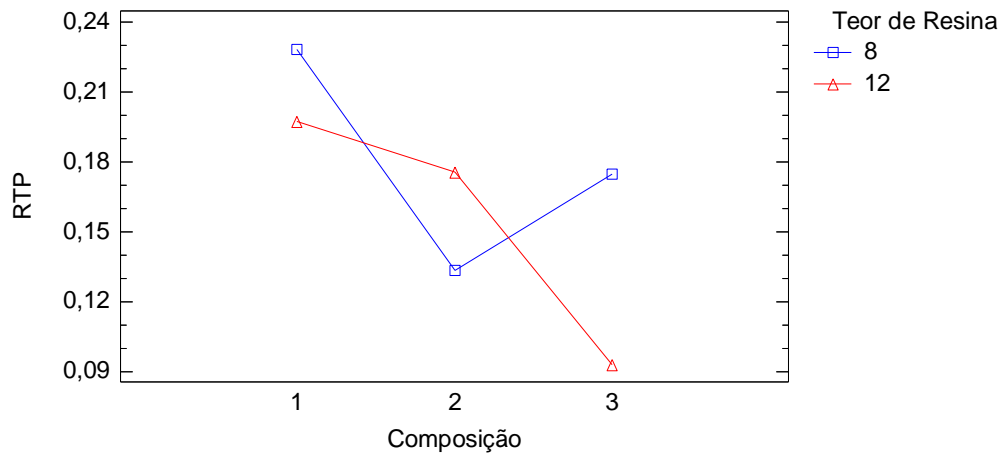


Figura 10 - Composição x Teor de Resina para RTP.

Os resultados mais satisfatórios para resistência a tração perpendicular foram observados em painéis produzidos com 8% de resina e a composição 1, referente as partículas da classe 1 (maiores dimensões). Os resultados menos satisfatório foram encontrados nos painéis com 12% de resina e a composição 3 (painéis multicamadas).

O esperado, para essa interação, seria o teor de resina de 12% apresentar os melhores resultados, como pode ser observado parcialmente na composição 2. A inversão dos valores nas composições 1 e 3 ocorreu devido ao acúmulo de erros sistemáticos, desde a preparação das partículas, ao espalhamento inadequado da resina e a falta de pressão específica.

6. CONCLUSÕES

- A utilização de resíduos da indústria de papel e celulose para a produção de painéis é viável, entretanto, há necessidade de um controle rigoroso no processo de preparação das partículas, sendo determinante na obtenção do produto final;
- Devido à problemas relacionados a manutenção do moinho de martelo foram geradas partículas de tamanhos fora do padrão para produção de painéis aglomerados;
- Para evitar a grande variação da densidade nominal, deve-se estipular uma pressão específica superior, levando-se em consideração a alta densificação do painel e a dimensões das partículas utilizadas;
- Para as variáveis inchamento em espessura e absorção de água, o efeito que teve maior influência foi a composição dos painéis aglomerados;
- Na resistência à tração perpendicular os resultados observados não alcançaram o requisito mínimo exigido pela norma europeia, a variação da composição teve maior influência sobre os tratamentos avaliados;
- O aumento da espessura devido a inadequada pressão específica aplicada para consolidação dos painéis afetou negativamente a variável resistência à tração perpendicular e proporcionou maior inchamento e absorção de água nos painéis avaliados;

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, C. E. E. Umidade da madeira para painéis aglomerados. **Revista da Madeira**. Curitiba. PR, ano 9, n.50, p. 50-54, 2000.
- ARRUDA, L. M. **Propriedades de painéis aglomerados com resinas sintéticas a partir da mistura do bambu *Guadua magna* londoño & filg. e da madeira de *Pinus taeda* L.** 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Departamento de Engenharia Florestal, UnB, Brasília.
- ARRUDA, L. M.; QUIRINO, W. F. Caracterização energética de Bambu (*Guadua magna*). In: Congresso Internacional de Bioenergia e BioTech Fair, 3, 2008, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 2008, 5p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA (ABIPA). **Números**. 2008. Disponível em: <<http://www.abipa.org.br/numeros.php>>. Acesso em: 10 abr. 2010.
- ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 14810 - Chapa de madeira aglomerada*. Parte 2: requisitos. **ABNT**. Rio de Janeiro. 4p. 2002.
- BATISTA, D. C.; BRITO, E. O.; SETUBAL, V. G.; GÓES, L. G. Fabricação de aglomerados de três camadas com madeira de *Pinus elliottii* Engelm. e casca de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **CERNE**, Lavras, v.13, n.2, p.178-187, abr./jun. 2007.
- BODIG, J.; JAYNE, B. A. *Mechanics of wood and wood composites: characteristics of wood composites*. **Van Nostrand Reinhold Company**, New York. 47p. 1982.
- 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: 8 Congresso Florestal Estadual**. p. 651-656. 2000.
- CAMPOS, C. I.; LAHR, F. A. R. MDF produzido com fibras de pinus utilizando uréia-formaldeído. **REMADE**, nº 88, 2005.
- CARNEIRO, A. C. O. et al. Propriedades de chapas de flocos fabricadas com adesivo de uréia-formaldeído e de taninos de casca de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden ou de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Revista Árvore**, v.28, n.5, p.715-724, 2004.
- CONNER, A. H. Urea-formaldehyde adhesive resins. In: SALAMONE, J. C. (ed.). **Polymeric materials encyclopedia**. Boca Raton, Florida: CRC Press, 1996, v.11, p.8496-8501.

COUTO, L. C. **Influência da morfologia dos cavacos de madeira de *Eucalyptus urophylla* de origem híbrida na qualidade da celulose Kraft.** 1979. 113p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 1979.

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

DIAS, F. M. **Aplicação de resina poliuretana à base de mamona na fabricação de painéis de madeira compensada e aglomerada.** 2005. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais). Área de Ciência e Engenharia de Materiais, USP, São Paulo.

DOSSA, D. Importância sócio-econômica e ambiental. In: Cultivo do Pinus. **Embrapa Florestas**, Sistemas de Produção, 5. 2005.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **Particleboards and fiberboards – Determination of tensile strength perpendicular to the plane of board.** EN 319. 1993.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **Particleboards and fiberboards - Determination of swelling in thickness after immersion in water.** EN 317. 1993.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **Wood-based panels – Determination of density.** EN 323. 1993.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **Wood-based panels – Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength.** EN 310. 1993.

FOELKEL, C. E. B.; COUTO, L. C.; KATO, J. **A utilização da serragem de madeira de eucalipto na produção de polpa celulósica.** Cenibra, São Paulo, 21p, 1979.

FRANKLIN ADHESIVES. **Trinta princípios da colagem de madeira.** 2003. 5p. Disponível em < <http://www.franklinadhesives.com/Home.aspx>> Acesso em 28 jul. 2010.

GARDNER D. J., WAAGE, S. K., ELDER, T. J. Bonding flakeboard with filled and extended phenol-resin. **Forest Products Journal.** v. 40, n. 7/8, p. 31-36, 1990.

GINZEL, W., PERAZA C. **Tecnologia de tableros de partículas.** Madrid: Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias, 1966.187 p.

HASELEIN, C. R. **Análise de parâmetros para a fabricação de chapas de partículas aglomeradas de madeira de eucalipto (*Eucalyptus grandis* W. Hill**

ex- Maiden) e embaúba (*Cecropia sp.*). Viçosa, 1989. 75 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

HASELEIN, C. R. SANTINI, E. J. ELEOTÉRIO, J. R. SCHEREEN, L. Resistência à flexão estática de alguns painéis aglomerados comercializados no Rio Grande do Sul. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria. V.11, n.1, p.195-200, 2001.

HASELEIN, C. R. PAULESKI, D. T. **Caderno didático da disciplina de tecnologia da madeira II: parte I.** Santa Maria: Imprensa Universitária. 2003. 82p.

HASELEIN, C. R. PAULESKI, D. T. **Caderno didático da disciplina de tecnologia da Madeira II: parte II.** Santa Maria: Imprensa Universitária. 2004. 53p.

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.

HILLIG, E. **Qualidade de chapas aglomeradas estruturais, fabricada com madeira de pinus, eucalipto e acácia negra, puras ou misturadas, coladas com tanino-formaldeído.** 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Tecnologia de Produtos Florestais, UFSM, Santa Maria.

IWAKIRI, S. **A influência de variáveis de processamento sobre propriedades de chapas de partículas de diferentes espécies de Pinus.** 1989. 146p. Tese (Doutorado em ciências florestais) – Pós-graduação em Engenharia Florestal, UFPR, Curitiba.

IWAKIRI, S.; KLOCK, U.; ROCHA, M. P.; SEVERO, E. T. D.; RINCOSKI, C. R.; BORTOLETTO JUNIOR, G.; PIO, N. S. Mistura de espécies na produção de chapas de partículas estruturais Waferboard. **Agrárias**, Curitiba, v.14, p.107-114, 1995.

IWAKIRI S.; PEREIRA, S. J.; NISGOSKI, S. Influência da umidade, pressão e tempo de prensagem na produção de chapas de partículas de madeira aglomerada. **Revista Ciências Agrárias**, Curitiba. v.18, n1-2. p.29-36., 1999a.

IWAKIRI, S; COSTA, A. F.; KLITZKE, R. J.; NIELSEN, I. R.; ALBERTI, R. A. R.; NIEFE, I. Produção de chapas de madeira aglomerada de *Pinus elliotii* Engelm. com inclusão laminar. **CERNE**, Lavras, V.5, N.2, P.086-094, 1999b.

IWAKIRI, S.; CRUZ, C. R.; OLANDOSKI, D. P.; BRAND, M. A. Utilização de resíduos de serraria na produção de chapas de madeira aglomerada de *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus pilularis*. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, V.7, n.1, p.251-256, 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 de pinus tropicais. **Floresta e Ambiente**, v. 8, n.1, p.137 - 142, jan./dez. 2001.

IWAKIRI, S.; SALDANHA, L. K. Painéis. In: Pinus: Uma alternativa do mercado. **REMADE**, n. 68, dez. 2002.

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

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

KELLY, M. W. **Critical literature review of relationship between processing parameters and physical properties of particleboard**. USDA. Forest Service Rep. FPI, V.10, 66 p, 1977.

KOCH, G. S.; KLAREICH, F.; EXTRUM, B. **Adhesives for the composite wood panel industry**. Editora Noyes Data Corporation. New Jersey. USA. 1987.

KOLLMANN, F. P.; KUENZI, E. W.; STAMM, A. J. **Principles of wood science and technology**: Wood based materials. New York. Springer-Verlag. 1975. v.2, 703p.

LATORRACA, J. V. F.; IWAKIRI, S. Efeitos do tratamento das partículas de *Eucalyptus dunnii* (Maiden), da variação da relação madeira-cimento e do uso de aditivos sobre as propriedades físico-mecânicas de chapas de madeira-cimento. **Revista Cerne**. v. 6, n.1, p. 001-008, 2000.

LEHMAN, W. F.; GEIMER, R.; HEFTY, F. V. **Factors affecting particleboard pressing time: interaction with catalyst systems**. USA For. Serv. Res. Paper FPL, n. 207, 8p, 1973.

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

MALONEY, T. M. The family of wood composite materials. **Forest Products Journal**. v.46, n.2, p. 19 - 26, 1996.

MATTOS, R. L. G.; GONCALVES, R. M.; CHAGAS, F.B. Painéis de madeira Brasil: panorama e perspectivas. **BNDS Setorial**, n.27, p.121-156, 2008.

MEDRADO, M. J. S. Apresentação. In: O cultivo do Pinus. **Embrapa Florestas**, Sistemas de Produção, 5. 2005.

MELLO, R. R. **Propriedades físico-mecânicas e resistência a biodeterioradores de chapas aglomeradas constituídas por diferentes proporções de madeira e casaca de arroz**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Tecnologia de Produtos Florestais, UFSM, Santa Maria.

MENDES, L. M.; ALBUQUERQUE, C. E. C.; IWAKIRI, S. A. Indústria brasileira de painéis de madeira. **Revista da Madeira**, Curitiba, v.10, n.56, p67-72,2001.

MISSOURI BOTANICAL GARDEN (MBG). **Angiosperm Phylogeny Website**. 2009. Disponível em: <<http://www.mobot.org/MOBOT/research/APWeb/>>. Acesso em: 19 jul. 2010.

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

NAUMANN, R. B.; VITAL, B. R.; Propriedades de chapas fabricadas com partículas de madeira de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake e de *Schizolobium amazonicum* Herb. **R. Árvore**, Viçosa-MG, 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**. São Carlos, 1992. 114p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

PEDRAZZI, C. **Qualidade de chapas de partículas de madeira aglomerada fabricadas com resíduos de uma indústria de celulose**. 2005. 137p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Tecnologia de Produtos Florestais, UFSM, Santa Maria.

PERLAC, J. The influence of moisture content on the hot pressing of [Douglas fir] particle board. **Drevarsky Vyskum**. v. 20, n. 2/3, p. 123-135, 1975. Resumo publicado no Forestry Abstracts, 1977.

PIZZI, A. **Wood adhesives: chemistry and technology**. Marcel Dekker, Inc. New York. 1983. Cap.1. p.7- 57.

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

SAMLAIC, J. Os atuais problemas e as possibilidades dos adesivos para madeira. **Revista da Madeira**. n.374, p.7-10. 1983.

SANTINI, E. J.; HASELEIN, C. R.; GATTO, D. A. Análise comparativa das propriedades físicas e mecânicas da madeira de três coníferas de florestas plantadas. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.10, n.1, p.85-93. 2000.

SANTOS, R. C. **Aproveitamento de resíduos da madeira de candeia (*Eremanthus erythropappus*) para produção de chapas de partículas**. 2008, 159f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira), Universidade Federal de Lavras.

SHIMIZU, J. Y. Espécies: *Pinus taeda*. In: Cultivo do Pinus. **Embrapa Florestas**, Sistemas de Produção, 5. 2005.

SINCOL. **Uso do pinus em portas, batentes e guarnições**. Relatório. Caçador – SC: SINCOL, 2008.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA (SBS). **Fatos e números do Brasil florestal**. São Paulo: SBS. Dezembro, 2007. 110p.

TOMASELLI, I. Tendências de mudanças na indústria de painéis. **Revista da madeira**. p.36-40.2000.

VITAL, B. R. **Effects of species and panel densities on properties of hardwood particleboard**. Madison, 1973. 111 p. Thesis (Master of Science - Forestry) - University of Wisconsin.

VITAL, B. R. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Viçosa-MG: SIF, 1984. 21p. (Boletim Técnico, 2).

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

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

ZENID, G. J. Madeiras e suas características. In: **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro**. Eds. OLIVEIRA, J.T.S.; FIEDLER, N.C.; NOGUEIRA, M. Suprema Gráfica e Editora, 2007, p.125-158.

APÊNDICE

Tabela 8 - Análise de variância para variável razão de esbeltez nos tratamentos avaliados.

Fonte de variação	Soma dos quadrados	GL	Quadrado médio	F	p
Entre grupos	216,277	1	216,277	74,28	0,00
Dentro dos grupos	151,397	52	2,91149		
Total	367,674	53			

Tabela 9 - Análise de variância para variável razão de planicidade nos tratamentos avaliados.

Fonte de variação	Soma dos quadrados	GL	Quadrado médio	F	p
Entre grupos	17,3914	1	17,3914	22,43	0,00
Dentro dos grupos	40,3224	52	0,775431		
Total	57,7138	53			

Tabela 10 - Análise de variância para variável densidade nos tratamentos avaliados.

Fonte de variação	Soma dos quadrados	GL	Quadrado médio	F	p
Entre grupos	1,30251	5	0,260502	61,16	0,00
Dentro dos grupos	0,35777	84	0,00425917		
Total	1,66028	89			

Tabela 11 - Análise de covariância para variável absorção de água em 2 horas nos tratamentos avaliados.

Fonte de variação	Soma dos quadrados	GL	Quadrado médio	F	p
COVARIÁVEL					
Densidade	17,1038	1	17,1038	0,16	0,6912
EFEITOS					
A: Composição	22858,6	2	11429,3	106,16	0,0000
B: Teor de Resina	584,029	1	584,029	5,42	0,0223
INTERAÇÃO					
AB	440,308	2	220,154	2,04	0,1359
RESÍDUO	8935,94	83	107,662		
TOTAL	97823,2	89			

Tabela 12 - Parâmetros estatísticos para a variável absorção de água em 2 horas.

Tratamento	n	Média	Erro padrão	Limite inferior	Limite superior
MÉDIA GERAL	90	151,199			
Composição					
1	30	114,221	2,7653	108,721	119,721
2	30	188,825	3,33949	182,182	195,467
3	30	150,553	2,03223	146,511	154,595
Teor de Resina					
8	45	153,747	1,54682	150,67	156,823
12	45	148,652	1,54682	145,575	151,728
Composição x Teor de Resina					
1,8	15	116,713	3,34555	110,058	123,367
1,12	15	111,729	3,3584	105,049	118,408
2,8	15	194,43	3,37658	187,714	201,146
2,12	15	183,219	4,36424	174,539	191,9
3,8	15	150,098	2,68053	144,767	155,43
3,12	15	151,007	3,01507	145,01	157,004

Tabela 13 - Análise de covariância para variável absorção de água em 24 horas nos tratamentos avaliados.

Fonte de variação	Soma dos quadrados	GL	Quadrado médio	F	p
COVARIÁVEL					
Densidade	218,547	1	218,547	2,72	0,1026
EFEITOS					
A: Composição	17416,7	2	8708,37	108,55	0,0000
B: Teor de Resina	692,058	1	692,058	8,63	0,0043
INTERAÇÃO					
AB	1267,14	2	633,57	7,90	0,0007
RESÍDUO	6658,34	83	80,221		
TOTAL	86619,6	89			

Tabela 14 - Parâmetros estatísticos para a variável absorção de água em 24 horas.

Tratamento	n	Média	Erro padrão	Limite inferior	Limite superior
MÉDIA GERAL	90	164,762			
Composição					
1	30	132,477	2,38702	127,729	137,224
2	30	197,74	2,88266	192,007	203,474
3	30	164,069	1,75423	160,58	167,558
Teor de Resina					
8	45	167,535	1,33522	164,879	170,191
12	45	161,989	1,33522	159,333	164,644
Composição x Teor de Resina					
1,8	15	135,902	2,88789	130,158	141,646
1,12	15	129,052	2,89898	123,286	134,818
2,8	15	205,285	2,91468	199,488	211,082
2,12	15	190,196	3,76723	182,703	197,689
3,8	15	161,419	2,31384	156,817	166,021
3,12	15	166,718	2,60261	161,542	171,895

Tabela 15 - Análise de covariância para variável inchamento em espessura em 2 horas nos tratamentos avaliados.

Fonte de variação	Soma dos quadrados	GL	Quadrado médio	F	p
COVARIÁVEL					
Densidade	795,526	1	795,526	56,99	0,0000
EFEITOS					
A: Composição	1829,99	2	914,993	65,55	0,0000
B: Teor de Resina	3,15513	1	3,15513	0,23	0,6357
INTERAÇÃO					
AB	1931,53	2	965,766	69,19	0,0000
RESÍDUO	1158,59	83	13,9589		
TOTAL	7376,93	89			

Tabela 16 - Parâmetros estatísticos para a variável inchamento em espessura em 2 horas.

Tratamento	n	Média	Erro padrão	Limite inferior	Limite superior
MÉDIA GERAL	90	30,1024			
Composição					
1	30	21,5232	0,995721	19,5428	23,5037
2	30	35,0218	1,20247	32,6301	37,4135
3	30	33,7623	0,731759	32,3068	35,2177
Teor de Resina					
8	45	30,2897	0,556972	29,1819	31,3975
12	45	29,9152	0,556972	28,8074	31,023
Composição x Teor de Resina					
1,8	15	22,6157	1,20465	20,2197	25,0117
1,12	15	20,4307	1,20928	18,0255	22,8359
2,8	15	41,0359	1,21583	38,6177	43,4541
2,12	15	29,0077	1,57146	25,8821	32,1333
3,8	15	27,2174	0,965196	25,2977	29,1372
3,12	15	40,3071	1,08565	38,1478	42,4664

Tabela 17 - Análise de covariância para variável inchamento em espessura em 24 horas nos tratamentos avaliados.

Fonte de variação	Soma dos quadrados	GL	Quadrado médio	F	p
COVARIÁVEL					
Densidade	944,788	1	944,788	52,08	0,0000
EFEITOS					
A: Composição	2009,7	2	1004,85	55,39	0,0000
B: Teor de Resina	1,8063	1	1,8063	0,10	0,7531
INTERAÇÃO					
AB	2468,21	2	1234,11	68,02	0,0000
RESÍDUO	1505,79	83	18,142		
TOTAL	9145,13	89			

Tabela 18 - Parâmetros estatísticos para a variável inchamento em espessura em 24 horas.

Tratamento	n	Média	Erro padrão	Limite inferior	Limite superior
MÉDIA GERAL	90	33,6872			
Composição					
1	30	24,7787	1,13515	22,521	27,0365
2	30	38,6788	1,37086	35,9522	41,4053
3	30	37,6041	0,834229	35,9448	39,2633
Teor de Resina					
8	45	33,5455	0,634966	32,2826	34,8084
12	45	33,8289	0,634966	32,5659	35,0918
Composição x Teor de Resina					
1,8	15	25,2136	1,37334	22,4821	27,9451
1,12	15	24,3439	1,37862	21,6019	27,0859
2,8	15	45,3972	1,38608	42,6403	48,154
2,12	15	31,9604	1,79152	28,3971	35,5236
3,8	15	30,0258	1,10035	27,8372	32,2144
3,12	15	45,1824	1,23768	42,7207	47,6441

Tabela 19 - Análise de covariância para variável resistência a tração perpendicular nos tratamentos avaliados.

Fonte de variação	Soma dos quadrados	GL	Quadrado médio	F	P
COVARIÁVEL					
Densidade	0,0116585	1	0,0116585	6,07	0,0164
EFEITOS					
A: Composição	0,596871	2	0,0298436	15,53	0,0000
B: Teor de Resina	0,00965404	1	0,00965404	5,02	0,0284
INTERAÇÃO					
AB	0,034158	2	0,017079	8,89	0,0004
RESÍDUO	0,124911	65	0,00192171		
TOTAL	0,415718	71			

Tabela 20 - Parâmetros estatísticos para a variável resistência a tração perpendicular.

Tratamento	n	Média	Erro padrão	Limite inferior	Limite superior
MÉDIA GERAL	72	0,166987			
Composição					
1	24	0,212599	0,016828	0,178991	0,246207
2	24	0,154416	0,02066	0,113155	0,195677
3	24	0,133947	0,00995831	0,114059	0,153835
Teor de Resina					
8	36	0,178798	0,00737965	0,16406	0,193537
12	36	0,155176	0,00737965	0,140438	0,169914
Composição x Teor de Resina					
1,8	12	0,228121	0,018382	0,19141	0,264833
1,12	12	0,197076	0,0197559	0,157621	0,236531
2,8	12	0,133505	0,0203335	0,0928956	0,174113
2,12	12	0,175328	0,0247993	0,1258	0,224856
3,8	12	0,174769	0,0126659	0,149474	0,200065
3,12	12	0,093125	0,0156881	0,0617933	0,124456