

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Arnaldo de Barros Rezende Piccardi

**VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DE *Grevillea robusta* EM DIFERENTES
PROPORÇÕES COM *Pinus taeda* PARA PRODUÇÃO DE PAINÉIS
AGLOMERADOS**

Curitiba

2013

Arnaldo de Barros Rezende Piccardi

**VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DE *Grevillea robusta* EM DIFERENTES
PROPORÇÕES COM *Pinus taeda* PARA PRODUÇÃO DE PAINÉIS
AGLOMERADOS**

Trabalho de Conclusão apresentado à Disciplina Estágio Profissionalizante em Engenharia Industrial Madeireira - Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, do Curso de Engenharia Industrial Madeireira, Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de “Engenheiro Industrial Madeireiro”.

Orientador: Profa. Dr^a. Rosilani Trianoski

Curitiba

2013

À minha família

Dedico.

AGRADECIMENTOS

À minha família pela educação, amor e compreensão quanto à ausência.

À orientadora Professora Dra. Rosilani Trianoski, pela pronta aceitação ao projeto e auxílio às atividades e discussões deste Trabalho de Conclusão de Curso.

Aos servidores do Laboratório de Painéis de Madeira e do Laboratório de Usinagem da Madeira, aqueles que direta ou indiretamente participaram da execução deste trabalho.

RESUMO

A demanda por painéis de madeira tem tido uma acentuada expansão, dentre eles os painéis de madeira aglomerada tem um grande destaque. Nos últimos anos tais painéis sofreram uma evolução no seu processo produtivo, proporcionando um aumento na qualidade final dos painéis, com isso tais painéis ainda terão significativa participação nos anos que estão por vir, projeções do setor de painéis demonstram tal tendência. Para atender esta crescente demanda este trabalho vem estudar a viabilidade da inserção de uma espécie arbórea alternativa e de rápido crescimento na indústria de painéis aglomerados, a espécie em questão é a *Grevillea robusta*. A espécie foi processada juntamente com uma espécie já consagrada na indústria de painéis aglomerados, o *Pinus taeda*, e foram produzidos seis tratamentos distintos com diferentes porcentagens da mistura dessas duas espécies. Os painéis foram produzidos com densidade nominal de 0,70 g/cm³, sendo em uma camada homogênea, com resina Uréia-Formaldeído, e utilizando os seguintes parâmetros de prensagem: temperatura 160°C, pressão específica de 40 kgf/cm², e tempo de 8 minutos. As propriedades dos painéis foram avaliadas segundo os seguintes ensaios físicos e mecânicos: Massa Específica Aparente, Absorção de Água, Inchamento em Espessura, Flexão Estática, Tração Perpendicular a Superfície e Resistência ao Arrancamento de Parafuso, seguindo as normas EN e NBR. Os resultados obtidos demonstram que a *Grevillea robusta*, pode ser adicionada em até 20% em massa base peso seco, as partículas de *Pinus taeda*, constituindo um painel misto, que atende as normas de propriedades físicas e mecânicas.

Palavras chave: *Grevillea robusta*. *Pinus taeda*. Painéis de madeira aglomerada.

ABSTRACT

The demand for wood panels has had a marked expansion, including particle board have a major highlight. In recent years such panels have evolved in their production process, resulting in an increase in the final quality of the panels, such panels will still have significant participation in the years to come, industry projections panels demonstrate this trend. To meet this growing demand this work will study the feasibility of inserting an alternative tree species and rapid growth in the particleboard industry, the species in question is the *Grevillea robusta*. The species was processed along with a kind already established in the particle-board industry, *Pinus taeda*, and produced six different treatments with different percentages of the mixture of these two species. The panels were produced with nominal density of 0.70 g/cm³, and in a homogeneous layer with resin Urea-Formaldehyde, and using the following parameters pressing: temperature 160 ° C, specific pressure of 40 kgf/cm², and time of 8 minutes. The properties of the panels were evaluated according to the following physical and mechanical tests: Density, Water Absorption, Thickness Swelling Static Bending, Tension Perpendicular to Surface and Screw Pullout Resistance, following EN standards and NBR. The results show that the *Grevillea robusta* can be added up to 40% by weight based on dry weight of *Pinus taeda* particles constituting a mixed panel, which meets the standards of physical and mechanical properties.

Keywords: *Grevillea robusta*. *Pinus taeda*. Particle board.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – PRODUÇÃO MUNDIAL DE PAINÉIS DE MADEIRA	16
FIGURA 2 – APLICAÇÕES DOS PAINÉIS DE MADEIRA AGLOMERADA EM 2012	17
FIGURA 3 – PROCESSAMENTO DAS PARTÍCULAS	32
FIGURA 4 – MANUFATURA DOS PAINÉIS DE MADEIRA AGLOMERADA	35
FIGURA 5 – ESQUEMA DE CORTE DOS CORPOS DE PROVA	36
FIGURA 6 – CLIMATIZAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA	37
FIGURA 7 – ENSAIOS FÍSICOS E MECÂNICOS	39

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – PRODUÇÃO, IMPORTAÇÃO, EXPORTAÇÃO, CONSUMO INTERNO E CAPACIDADE INSTALADA DOS PAINÉIS DE MADEIRA AGLOMERADA	14
TABELA 2 – DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	34
TABELA 3 – PARÂMETROS DE QUALIDADE DA RESINA URÉIA FORMALDEÍDO	41
TABELA 4 – VALORES MÉDIOS DE MASSA ESPECÍFICA DOS PAINÉIS	42
TABELA 5 – VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA EM 2 E 24 HORAS DOS PAINÉIS	43
TABELA 6 – VALORES MÉDIOS DO MÓDULO DE RUPTURA E MÓDULO DE ELASTICIDADE DOS PAINÉIS	44
TABELA 7 – VALORES MÉDIOS DE TRAÇÃO PERPENDICULAR A SUPERFÍCIE DOS PAINÉIS	45
TABELA 8 – VALORES MÉDIOS DE RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DE PARAFUSO NA SUPERFÍCIE E NO TOPO DOS PAINÉIS	46

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVOS	12
1.1.1 Objetivo Geral	12
1.1.2 Objetivos Específicos	12
2 REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1 PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS DA ESPÉCIE ARBÓREA	13
2.1.1 <i>Grevillea robusta</i>	13
2.1.2 <i>Pinus taeda</i>	14
2.2 CARACTERIZAÇÃO DOS PAINÉIS DE MADEIRA AGLOMERADA	15
2.3 PRODUÇÃO DOS PAINÉIS DE MADEIRA AGLOMERADA	16
2.4 UTILIZAÇÃO DOS PAINÉIS DE MADEIRA AGLOMERADA	18
2.5 FATORES QUE AFETAM AS PROPRIEDADES DOS PAINÉIS DE MADEIRA AGLOMERADA	19
2.5.1 Fatores intrínsecos da madeira	20
2.5.1.1 Espécie	20
2.5.1.2 Massa específica	20
2.5.1.3 Extrativos	21
2.5.1.4 PH	21
2.5.2 Fatores intrínsecos ao processo	22
2.5.2.1 Presença de casca	22
2.5.2.2 Produção e Geometria das partículas	22
2.5.2.3 Umidade das partículas	23
2.5.2.4 Classificação das partículas	24
2.5.2.5 Resina Uréia Formaldeído	25
2.5.2.6 Aplicação do adesivo	25
2.5.2.7 Distribuição do painel	26
2.5.2.8 Parâmetros de prensagem	27
2.5.2.8.1 Pressão	27
2.5.2.8.2 Temperatura	27
2.5.2.8.3 Tempo	28
3 MATERIAS E MÉTODOS	29

3.1 ESPÉCIE ESTUDADAS	29
3.2 DESCRIÇÃO DO LOCAL E AMOSTRAGEM DO MATERIAL	29
3.2.1 Descrição do local	29
3.2.2 Amostragem do material em campo	29
3.2.3 Corte do material	30
3.3 PROCESSAMENTO DAS PARTÍCULAS	30
3.3.1 Processamento das partículas	30
3.3.2 Granulometria das partículas	30
3.4 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA RESINA	33
3.5 MANUFATURA DOS PAINÉIS DE MADEIRA AGLOMERADA	33
3.5.1 Delineamento experimental	33
3.5.2 Produção dos painéis de madeira aglomerada	34
3.6 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES DOS PAINÉIS DE MADEIRA AGLOMERADA.....	36
3.6.1 Confecção dos corpos de prova.....	36
3.6.2 Climatização dos corpos de prova	37
3.6.3 Normas para determinação das Propriedades Físicas	38
3.6.4 Normas para determinação das Propriedades Mecânicas	38
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4.1 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA RESINA.....	40
4.2 PROPRIEDADES DOS PAINÉIS	41
4.2.1 Propriedades Físicas	41
4.2.1.1 Massa Específica Aparente	41
4.2.1.2 Absorção de Água e Inchamento em Espessura	42
4.2.2 Propriedades Mecânicas	44
4.2.2.1 Resistência a Flexão Estática	43
4.2.2.2 Tração Perpendicular a Superfície	46
4.2.2.3 Resistência ao Arrancamento de Parafuso	47
5 CONCLUSÕES	48
REFERÊNCIAS	49
ANEXO.....	52

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas observar-se uma evolução tecnológica na indústria de base florestal, empregando novos métodos de produção e novos produtos. Dentre essas, a indústria de painéis de madeira reconstituída tem crescido e evoluído em grande escala, atualmente podendo suprir com qualidade e quantidade o setor madeireiro.

Os painéis de madeira aglomerada apresentam grandes vantagens quando comparado a madeira serrada e aos painéis compensados, dentre as principais podemos citar, menor custo de produção, menores exigências quanto a matéria-prima e eliminação de efeitos de anisotropia da madeira. Outra vantagem primordial é o fato de tais painéis utilizarem em sua maioria madeira de reflorestamento de rápido crescimento e, em alguns casos, ainda podem utilizar resíduos de outras indústrias madeireiras.

Dados da ABIPA (2013) demonstram uma demanda crescente dos painéis de madeira reconstituída, dentre eles os painéis de madeira aglomerada, tal demanda está relacionada principalmente com o crescimento da indústria do setor moveleiro (MACEDO; ROQUE, 2013) consumindo 89% da produção, juntamente com o crescimento da demanda temos um aumento da capacidade produtiva, onde a produção nominal dos painéis de madeira reconstituída no ano de 2012 foi de 10,4 milhões de m³.

Para suprir essa demanda de painéis reconstituídos, é preciso além do aumento da área de plantio das espécies já consagradas, como também o emprego de novas tecnologias produtivas e a utilização de espécies de rápido crescimento.

Perante essa nova realidade, esse trabalho tenta contribuir na utilização de uma nova espécie de rápido crescimento juntamente com a utilização de uma espécie já consagrada na indústria de painéis de madeira aglomerada, mostrando sua viabilidade produtiva e melhoria do produto final, com isso foram estabelecidos os objetivos mencionados a seguir.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar o potencial de utilização de *Grevillea robusta* em diferentes proporções com *Pinus taeda*, para produção de painéis de madeira aglomerada.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Avaliar o efeito individual e da mistura de *Grevillea robusta* em diferentes proporções com uma espécie já consagrada, *Pinus taeda*, sobre as características físicas e mecânicas dos painéis produzidos.
- Estabelecer um comparativo dos resultados obtidos, com uma espécie já consagrada, *Pinus taeda*, e constatar o atendimento dos requisitos propostos pelas Normas EN e NBR.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS DA ESPÉCIE ARBÓREAS

2.1.1 *Grevillea robusta* Cunn – Grevílea

Pertencente à Família Proteaceae a *Grevillea robusta* Cunn nativa da Austrália ocorrendo em áreas subtropicais, é encontrada em regiões tropicais e subtropicais do Hemisfério Sul, ocorrendo em temperatura média entre 14°C e 20°C anual, com precipitação média anual de 1.000 a 2.000mm com ausência de secas prolongadas, em altitudes de 0 até 1.100 m (HARDWOOD; GETAHUN, 1990; MARTINS; NEVES, 2004).

Sendo considerada uma espécie de rápido crescimento e alternativa a produção de painéis de madeira aglomerada (TRIANOSKI, 2010).

Introduzida no Brasil no final do século XIX, para realizar sombreamento de lavouras de cafezais no estado de São Paulo, sendo adotada também como formação de quebra-ventos para lavouras de café (MARTINS; NEVES, 2004).

No Rio Grande do Sul, apresentou DAP de 7,3 cm e 36,0 cm, com volume comercial média sem casca de 0,0215m³ e 1,2388m³ e fator de forma comercial médio de 0,86 e 0,69 para 6 e 30 anos respectivamente, tendo um incremento médio anual máximo de 0,0427m³/ano (CANTO; SCHNEIDER, 2004).

Tendo como característica: cerne e alburno distintos pela cor, cerne castanho claro; cheiro e gosto imperceptíveis; densidade média; grã reta; textura média. Parênquima axial visível sob lente, em faixas, escalariforme, formando arcos entre os raios. Raios altos e largos, visíveis a olho nu em todas as faces. Vasos visíveis só sob lente; porosidade difusa; em arranjos tangenciais. (MAINIERI, 1978; IPT 1997). Ainda de acordo com IPT (1997), possui massa específica $ME_{ap, 15\%} = 0,59g/cm^3$ e contração volumétrica de 11,3%.

Apresenta resistência mecânica média, de Módulo de Ruptura 63MPa, Módulo de Elasticidade 6954 Mpa no ensaio de Flexão Estática, para

Compressão Paralela MOR 26MPa e MOE 9514MPa, com tensão de cisalhamento de 9 MPa e Dureza de 3732 N (OIKAWA; MATOS; TRIANOSKI, 2009).

2.1.2 *Pinus taeda*

Pertencente a família *Pinacea*, é uma espécie de pinheiro originária do Novo Mundo, fazendo parte do grupo de espécies de pinheiros com área de distribuição no Canadá e Estados Unidos da América, crescendo em altitudes de até 800m em clima úmido, temperado-ameno com temperaturas médias anuais variam de 13 °C a 24 °C, podendo chegar à mínima extrema de -23 °C. (MARCHIORI, 1996; EMBRAPA 2013)

No Brasil, *Pinus taeda* é a espécie mais plantada entre os pinus, abrangendo aproximadamente um milhão de hectares, no planalto da região Sul do Brasil, para a produção de celulose, papel, madeira serrada, chapas e madeira reconstituída. Podendo ser plantado no planalto das regiões Sul e Sudeste, em solo bem drenado, onde não haja deficiência hídrica. Isto inclui as partes serranas do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, bem como o sul dos estados de São Paulo e Minas Gerais (EMBRAPA, 2013).

Pearson e Gilmore (1980) constataram grandes variações entre dados de resistência mecânica entre madeiras juvenil e adulta de *pinus taeda*.

Ballarin e Lara (2003) encontraram as seguintes variações das resistências entre madeira de lenho juvenil e adulta de *Pinus taeda* de 37 anos, MOE 16.730 MPa e 10.894 MPa, MOR 127,62 MPa e 87,03 MPa, respectivamente, para lenho adulto e juvenil.

2.2 CARACTERIZAÇÃO DOS PAINÉIS DE MADEIRA AGLOMERADA

Painéis de madeira aglomerada utilizam três componentes básicos em sua constituição, são eles, madeira particulada e distribuída de forma aleatória, resina e catalizador distribuídos homogeneamente sobre as partículas. Posteriormente a formação do colchão, esses componentes são submetidos a determinada pressão e temperatura, por um tempo controlado para a consolidação do painel (MOSLEMI, 1974; MALONEY, 1993; IWAKIRI, 2005; TRIANOSKI, 2010).

Historicamente, os painéis de partículas surgiram no início da década de 40, utilizando os resíduos de madeira, devido à dificuldade de obtenção de madeira de boa qualidade para produção dos painéis de madeira compensada, em função do isolamento durante a segunda guerra mundial. Porém, tal produção logo foi paralisada em ocorrência da dificuldade de obtenção de matéria-prima para fabricação de resina. No pós guerra a produção foi retomada nos Estados Unidos, com aperfeiçoamentos de equipamentos e processos produtivos (IWAKIRI, 2005).

Na década de 60 houve grande expansão em termos de instalações industriais e avanços tecnológicos, nessa época a primeira fábrica no Brasil foi instalada, em 1966 em Curitiba – PR. A partir desse momento inúmeras indústrias se instalaram na Região Sul e Sudeste do país (IWAKIRI *et al.*, 2001), passando a se inserir no mercado nacional como um importante e significativo produto no setor madeireiro (TRIANOSKI, 2010).

As principais vantagens de um painel de madeira já são debatidas e constatadas por pesquisadores consagrados da área como, por exemplo, Moslemi (1974), Maloney (1993), Iwakiri (2005), citam que os painéis de madeira aglomerada quando comparados a madeira sólida e outros painéis tem como vantagens a eliminação dos defeitos da anisotropia da madeira, eliminação de fatores prejudiciais a resistência da madeira como nós, inclinação da grã, lenhos juvenil e adulto, menores exigências frente a matéria-prima como diâmetro, forma do fuste, defeitos em geral, além de um menor custo de produção ligado diretamente a qualidade da mão de obra.

Nessas últimas décadas tivemos debates sobre novas especificações e normatizações dos painéis aglomerados, com um aprimoramento tecnológico, novas formas de controle do processo produtivo e melhorias do produto final, elevando esse painel a um novo patamar, com uma nova terminologia MDP (*Medium Density Particleboard*), ou simplesmente painel de partículas de média densidade (ABIPA, 2013).

Segundo Iwakiri (2005) os painéis de madeira aglomerada podem ser classificados com base na sua densidade (baixa, média e alta), tipos de partículas (*sliver, flake, wafer e strand*) e sua distribuição (homogêneos, múltiplas camadas e camadas graduadas).

2.3 PRODUÇÃO DOS PAINÉIS DE MADEIRA AGLOMERADA

Dados da ABIPA (2013) indicam para os próximos anos, investimentos de aproximadamente US\$ 1,2 bilhão na instalação de novas unidades industriais, com isso, propiciando um aumento de 0,6 milhões de metros cúbicos em relação à capacidade instalada atual (2012).

Ainda segundo ABIPA (2012) os painéis de madeira aglomerada representam 46% de todos os painéis de madeira produzidos, sendo apenas superados pela produção de MDF com 49% da produção.

Na tabela a seguir (TABELA 1) é possível verificar o desempenho da produção brasileira de painéis de madeira aglomerada nos últimos 8 anos, sendo apresentados dados de produção, importação, exportação, consumo interno e capacidade nominal.

TABELA 1 – PRODUÇÃO, IMPORTAÇÃO, EXPORTAÇÃO, CONSUMO INTERNO E CAPACIDADE INSTALADA DOS PAINÉIS DE MADEIRA AGLOMERADA

Ano	Produção (m ³)	Importação (m ³)	Exportação (m ³)	Consumo Interno (m ³)	Capacidade Instalada (m ³)
2005	2.048.957	78.400	25.750	2.101.607	2.800,00
2006	2.198.216	64.700	76.670	2.186.246	2.900,00
2007	2.557.141	28.080	37.390	2.547.831	3.085,00
2008	2.617.066	42.520	26.640	2.632.946	3.265,00
2009	2.488.915	36.271	25.761	2.499.425	4.020,00
2010	3.017.902	15.388	16.235	3.017.055	4.544,00
2011	3.069.718	1.470	23.993	3.047.195	4.790,00
2012	3.260.646	2.699	30.612	3.232.733	4.790,00

FONTE: ABIPA (2013)

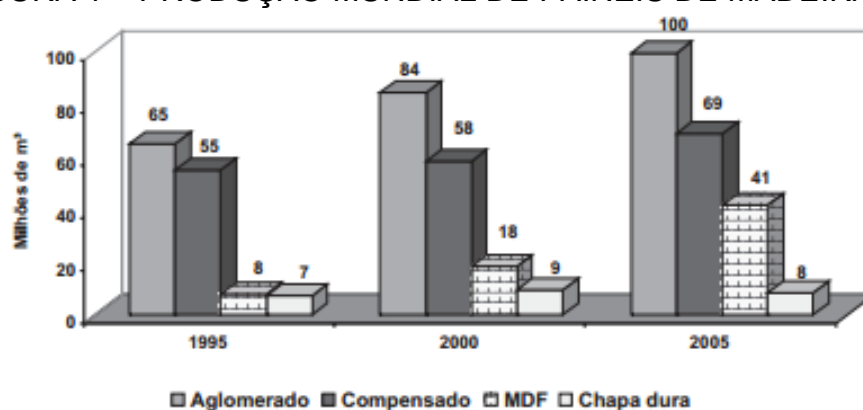
Nota-se um crescimento de 71% na capacidade instalada nos últimos 8 anos, alcançando aproximadamente 4,8 milhões de m³ no ano de 2012, sendo que tal aumento vêm acompanhado de um aumento de 53% no consumo interno, um aumento 19% na exportação e uma drástica redução da Importação. Com os dados ABIPA (2012), verificamos que 99% da produção nacional de painéis de madeira aglomerada destinam-se ao consumo interno.

O consumo de painéis aumentou nesse período, em função da qualidade dos produtos oferecidos e da escassez de oferta de madeira principalmente as madeiras de lei (BNDES, 1998).

Segundo Iwakiri (2005) os painéis de madeira aglomerada produzidos no Brasil são constituídos de *Pinus*, por ser uma espécie de baixa densidade com uma disponibilidade em grande escala nas plantações florestais, facilitando questões de logística de matéria-prima.

No mundo a produção de painéis de madeira aglomerada vem aumentando, atingindo 99,7 milhões de m³ no ano de 2005 (FAO, 2008). No período entre 1995 e 2005, o consumo mundial de aglomerado cresceu a uma taxa média anual de 4,2% (FAO, 2008). É possível verificar tais dados na figura a seguir.

FIGURA 1 – PRODUÇÃO MUNDIAL DE PAINÉIS DE MADEIRA



FONTE: FAO, adaptado por BNDES (2008)

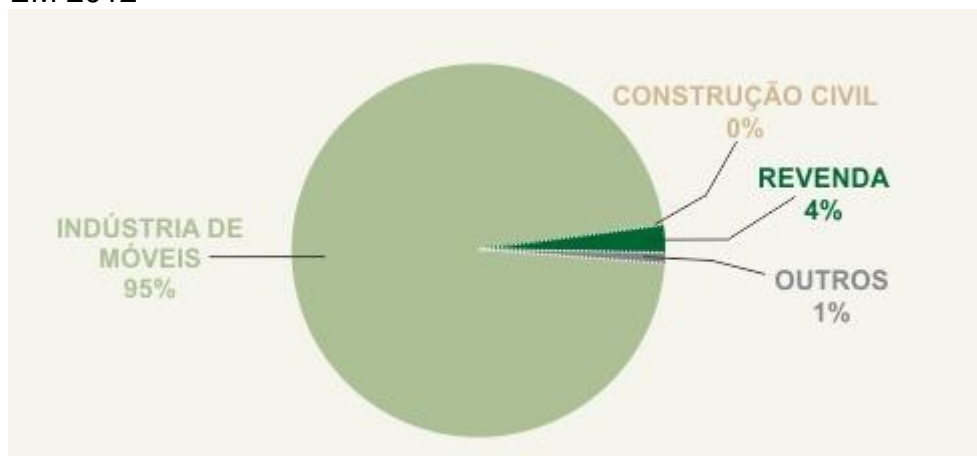
Atualmente o mercado de painéis no Brasil e no mundo vem tomando novos rumos. Dados da ABIPA (2013) mostram que no ano de 2011 a produção de MDF quase se igualou a de painéis aglomerados e no ano de 2012 os painéis de MDF superaram os painéis aglomerados tanto na produção e no consumo interno com 3.654.472 m³ frente aos 3.232.733 m³ de aglomerado consumidos no mercado interno. No entanto a produção de painéis de madeira aglomerada ainda continua de grande importância para o mercado interno, representando 45% do consumo interno de painéis de madeira no Brasil.

2.4 UTILIZAÇÃO DOS PAINÉIS DE MADEIRA AGLOMERADA

Segundo a ABIPA (2013), os painéis de madeira aglomerada são especialmente indicados para a indústria moveleira e marcenaria, na produção de móveis residenciais e comerciais de linhas retas. Suas principais aplicações são: portas retas, laterais de móveis, prateleiras, divisórias, tampos retos, tampos pós-formados, base superior e inferior e frentes e laterais de gaveta.

No gráfico a seguir (FIGURA 2) pode-se observar as principais aplicações dos painéis de madeira aglomerada no ano de 2012 no mercado interno.

FIGURA 2 – APLICAÇÕES DOS PAINÉIS DE MADEIRA AGLOMERADA EM 2012



FONTE: EPF/ABIPA (2013)

Com a análise desses dados é possível confirmar o forte uso dos painéis de madeira aglomerada na indústria moveleira.

2.5 FATORES QUE AFETAM AS PROPRIEDADES DOS PAINÉIS DE MADEIRA AGLOMERADA

Dezenas de variáveis podem ser controladas durante o processo produtivo dos painéis de madeira aglomerada, mas dentre elas algumas são de fundamental importância e estão relacionadas diretamente com as propriedades finais do produto como resistência mecânica e estabilidade dimensional (MALONEY, 1993).

As principais variáveis que devem ser controladas são: geometria das partículas, teor de umidade das partículas, massa específica das partículas, constituição e teor do adesivo, densidade final do painel, formação do colchão, parâmetros de prensagem, como temperatura, tempo e pressão (KELLY, 1977, MALONEY 1993, IWAKIRI, 2005).

2.5.1 Fatores intrínsecos da madeira

2.5.1.1 Espécie

No Brasil a madeira de *Pinus* é utilizada em larga escala, pois possui características que afetam positivamente as qualidades dos painéis de madeira aglomerada (IWAKIRI, 2005).

Para suprir a demanda do setor madeireiro diversas espécies estão sendo desenvolvidas, como por exemplo, estudos conduzidos por Trianoski (2010) com a avaliação do potencial de espécies florestais alternativas, de rápido crescimento, para produção de painéis de madeira aglomerada.

Maloney (1993), afirma que a espécie de madeira utilizada exerce influências positivas e negativas no produto final.

2.5.1.2 Massa específica

Kelly (1977) afirma que a propriedade mais importante referente à espécie é a sua massa específica.

Um dos principais fatores relacionados com a massa específica é a razão de compactação. Segundo Iwakiri (2005) o requisito básico para a madeira utilizada é uma espécie de baixa densidade, para assim obter uma razão de compactação (razão entre a densidade do painel e a densidade da madeira) de no mínimo 1,3, para que com isso ocorra a densificação necessária para a formação do painel.

Maloney (1993) afirmou que as espécies mais adequadas para produção de partículas, são as com massa específica de até 0,55 g/cm³, pois atingem uma razão de compactação entre 1,3 e 1,6 obtendo assim uma densificação na sua espessura final.

Esse é um dos fatores que explica no Brasil o *Pinus* ser a madeira mais utilizada (IWAKIRI, 2005).

2.5.1.3 Extrativos

Todos os compostos formados na madeira originam-se da fotossíntese. Os extrativos são resultados de modificações sofridas pelos carboidratos no processo fisiológico da árvore. Os locais de formação e posterior deslocamento para um local definitivo na madeira dependem da função do extrativo (KLOCK, 2000).

Na produção de painéis de madeira, estes compostos também exercem considerável influência (TRIANOSKI, 2010). Segundo Jankowsky (1988) elevados teores de extrativos presentes na madeira resultam em uma dificuldade de colagem. Essa dificuldade de colagem pode resultar em uma linha de cola de baixo desempenho (CLOUTIER, 1998). Entretanto, os extrativos podem aumentar a resistência perante a umidade (MOSLEMI, 1974).

2.5.1.4 PH

A acidez da madeira tem grande importância e influência sobre a cura da resina; uma espécie de baixo PH pode acelerar o processo de cura da resina e resultar no efeito de “pré-cura” da resina durante a fase de compressão das partículas, comprometendo a qualidade de colagem do painel (IWAKIRI, 2005).

2.5.2 Fatores intrínsecos ao processo

2.5.2.1 Presença de casca

Segundo Iwakiri (2005) a remoção da casca é de primordial importância na fabricação de painéis de madeira aglomerada, pois sua presença influencia negativamente sobre as propriedades dos painéis, a casca pode representar de 10 a 15% do volume das toras dependendo da espécie, podendo acarretar em problemas de estocagem, remoção e problemas ambientais. Industrialmente devido ao grande volume de toras, os métodos mais empregados são o de fricção ou tambor rotativo e o de cisalhamento de câmbio ou tipo anel.

A adição de até 6% de cavaco com casca na composição do painel não ocasiona comprometimento da qualidade dos mesmos (Soratto et al. 2013).

2.5.2.2 Produção e Geometria das partículas

Segundo Iwakiri (2005), serrarias modernas possuem equipamentos como serras perfiladoras para geração de cavacos a partir do desdobro primário das toras, algumas indústrias de aglomerado se instalam com uma linha de produção integrada com serrarias, visando à produção de cavacos, utilizando toras com diâmetros maiores e de melhor qualidade. Este procedimento visa principalmente a otimização do uso florestal, sendo que também existem indústrias que optam pelo fornecimento terceirizado dos cavacos, vindos de outras serrarias.

Para a transformação de toras em partículas são utilizados dois tipos de equipamentos, nessas etapas são definidos os elementos dimensionais das partículas (comprimento, largura e espessura), que por sua vez definem a razão de esbeltez (relação entre comprimento e a espessura) das partículas (IWAKIRI, 2005).

- Equipamento de redução primário – picadores de cilindro ou de disco, para transformar as toras em cavacos.

- Equipamento de redução secundária – moinho de martelo, para transformação de cavacos em partículas menores.

Geometria das partículas é um parâmetro primordial que afeta as propriedades finais do painel e o seu processo de fabricação, definem importantes características finais do produto (Moslemi, 1974). Maloney (1976) cita as principais características das partículas como sendo razão de planicidade, área superficial e índice de esbeltez.

O índice de esbeltez é um parâmetro altamente importante e exerce influência sobre as características vitais do painel, como por exemplo, a área de contato entre as partículas, as propriedades mecânicas, e o consumo relativo de resina (TRIANOSKI, 2010).

Para melhor entendimento temos um exemplo citado por Iwakiri, (2005) mantendo todas variáveis constantes.

- O aumento na espessura das partículas resulta em menor razão de esbeltez, menor área superficial específica das partículas e maior disponibilidade de resina por unidade de área das partículas e, por conseguinte, resultará no aumento da ligação interna do painel.
- O aumento no comprimento das partículas resulta em um aumento da razão de esbeltez e, conseqüentemente, as propriedades de flexão estáticas serão superiores.

Segundo Alberto, (1992) a espessura das partículas tem um efeito na estabilidade dimensional do painel, a estabilidade em espessura aumenta quando se reduz a espessura da partícula.

2.5.2.3 Umidade das partículas

A umidade é um fator que deve ser controlado desde o início do processo, segundo Iwakiri (2005) as toras devem ser monitoradas no pátio de armazenamento e separadas por lotes de umidades, sendo um procedimento recomendado para uniformização do processo de secagem de partículas.

Segundo Matos (1988) quanto maior a quantidade de água presente nas partículas, um maior período de tempo é necessário para o que o miolo da chapa

atinga a temperatura ideal, permitindo a cura do adesivo, entretanto a umidade juntamente com a temperatura proporciona uma maior plasticização da madeira que por sua vez oferece menor resistência a compactação. A umidade também favorece a flexibilização das partículas, assim facilitando a prensagem e diminuindo o tempo para atingir uma determinada espessura.

Segundo Iwakiri (2005) as partículas no processo industrial devem ser secas ao teor de umidade abaixo de 3%, ainda mais considerando uma secagem homogênea das partículas, ao menor tempo e custo possível. Ainda completa que partículas com elevado teor de umidade inicial podem gerar problemas de formação de bolhas de vapor durante a prensagem dos painéis, entretanto, partículas com baixo teor de umidade inicial podem resultar em super secagem, com riscos de combustão e incêndio no secador.

Segundo Moslemi (1974) o teor de umidade em painéis de madeira particulada devem ser rigorosamente controlado, assim evitando problemas operacionais e produtos finais com baixa qualidade.

2.5.2.4 Classificação das partículas

Segundo Iwakiri (2005) as partículas devem ser classificadas em dimensões aceitáveis, realizando a remoção de impurezas e “finos”. As partículas maiores são destinadas para a camada interna do painel, e as menores para a camada externa, produzindo uma superfície de mais fácil acabamento.

Segundo Moslemi (1974) os principais classificadores de partículas são:

- Classificador por Peneira Vibratória
- Classificador Pneumático

Iwakiri (2005) explica o seu funcionamento, o classificador de peneira possui uma ou mais peneiras intercaladas de diferentes malhas, as malhas vão diminuindo da parte superior para parte inferior, dessa forma as partículas maiores são retidas nas peneiras e as menores passam para a próxima peneira. O conjunto de peneiras está associado ao movimento vibratório ou giratório, separando as partículas de diferentes tamanhos. Já no classificador Pneumático as partículas são separadas em função do seu peso, as partículas caem sobre

uma mesa circular que as distribui com um movimento giratório, logo as partículas mais pesadas caem e são retiradas pela abertura inferior, enquanto que as partículas mais leves são succionadas através da abertura superior conectada ao exaustor.

2.5.2.5 Resina

A quantidade de resina está diretamente relacionada com as propriedades mecânicas e estabilidade dimensional do painel, quanto maior a quantidade de resina aplicada, maior o incremento de resistência mecânica e estabilidade dimensional (KELLY, 1977 ; MATOS, 1988 ; MENDES, 2006 ; IWAKIRI, 2005).

Isso se deve segundo Iwakiri (1989) a maior disponibilidade de resina por área superficial de partículas, melhorando as ligações entre as partículas. Entretanto, segundo Kelly (1977) após um determinado nível, o aumento de resina não acarretará em acréscimos em resistência mecânica.

O tipo de resina a ser utilizado está ligado diretamente ao uso final do painel de madeira aglomerada (KELLY, 1977 ; IWAKIRI, 2005).

Assim a resina é um fator decisivo no custo de produção, segundo Iwakiri (2005) a resina pode representar de 35% a 60% do custo total de produção dos painéis de madeira aglomerada, sendo a resina uréia-formaldeído o adesivo mais utilizados em painéis de madeira aglomerada destinados ao uso interno, por ter um baixo custo, facilidade de manuseio, cura rápida e ser incolor.

2.5.2.6 Aplicação do adesivo

A quantidade de adesivo a ser aplicada deve ser otimizada em função das propriedades requeridas e de acordo com as exigências mínimas em relação às normas, esta é determinada em função da quantidade de sólido resinoso da resina e com base no peso seco das partículas de madeira utilizadas, geralmente variando na faixa de 5 a 10% (IWAKIRI, 2005). Ainda segundo o autor, dois fatores importantes devem ser considerados, o controle da quantidade de adesivo

a ser aplicada e a homogeneidade quanto à distribuição de adesivo sobre a superfície das partículas, de modo a gerar um painel com uniformidade sobre toda a extensão do painel.

Segundo Moslemi (1974) dois tipos de aplicadores de adesivo podem ser utilizados, Sistema de aplicação por rolos ou Sistema de aplicação por atomização.

Iwakiri (2005) descreve os dois principais modos de aplicação de adesivo:

- Sistema de aplicação por rolos: Composto por um conjunto de rolos, sendo que dois deles maiores que os outros, tem a função de aplicação do adesivo sobre a superfície das partículas, um conjunto de rolos auxiliares é responsável pela transferência de adesivo vindo do depósito para os rolos. Esse sistema tem como vantagem a tolerância quanto a viscosidade do adesivo, e a principal desvantagem a menor uniformidade na distribuição do adesivo.

- Sistema de aplicação por atomização: O equipamento consiste num cilindro dotado de um eixo giratório com palhetas, que movimentam as partículas no seu interior, onde é realizada a atomização do adesivo utilizando-se bicos aplicadores. Esse é o sistema mais utilizado industrialmente, devido a sua grande vantagem na uniformidade na distribuição do adesivo sobre a superfície das partículas, entretanto tem como desvantagem ser realizado o controle da viscosidade do adesivo, entre 250 a 300 cp, além da limpeza frequente dos bicos para evitar o entupimento.

2.5.2.7 Distribuição do painel

Painéis de madeira aglomerada podem ter três tipos de distribuição, podendo ser, homogêneos, multicamadas e camadas graduadas (IWAKIRI, 2005). No Brasil, o painel de madeira aglomerada mais produzido é o multicamadas com formação de três camadas (BRITO *et al.*, 2005).

2.5.2.8 Parâmetros de prensagem

Durante o processo de prensagem, diversos parâmetros interagem para que ocorra a formação do painel, mas dentre esses fatores os principais e mais estudados são: temperatura, pressão e tempo de prensagem (KELLY, 1977; MATOS, 1988 IWAKIRI, 1989; MALONEY, 1993).

2.5.2.8.1 Pressão

Matos (1988) explica que o aumento do teor de umidade do colchão acarreta uma redução da pressão específica necessária para prensagem, pois a umidade vaporizada durante o processo torna plásticas as fibras, entretanto quanto maior o teor de umidade, maior o tempo de prensagem, pois é necessário um maior tempo para que ocorra a retirada da umidade existente no colchão.

Segundo Kelly (1977) é necessário uma pressão mínima para que ocorra a densificação do colchão atingindo assim a espessura final do painel, realizando um adequado contato entre as partículas constituintes do painel.

A pressão a ser aplicada pode variar na faixa de 12 a 40 kgf/cm², em função do grau de densificação do material (IWAKIRI, 2005).

2.5.2.8.2 Temperatura

A temperatura tem como função acelerar o processo químico que conduz a cura da resina, via a polimerização (MATOS, 1988; MALONEY, 1993), reduzindo a resistência da madeira à compressão e facilitar a consolidação do colchão até a espessura final do painel (IWAKIRI, 2005).

A temperatura aplicada durante o processo de prensagem é definida conforme o tipo de resina utilizada (KELLY, 1977). Segundo Iwakiri (2005), para linhas de prensagem industriais operam com temperaturas de 180°C para a resina uréia-formaldeído, e de 200 a 220°C para resina fenol-formaldeído.

Iwakiri (2005) completa que o processo de transferência de calor é contínuo até que a temperatura do centro do painel atinja valores necessários para a cura da resina, com isso a temperatura e o tempo de prensagem estão entrelaçados, quanto maior a temperatura durante a prensagem, menor o tempo de prensagem, com isso aumentando a produtividade.

2.5.2.8.3 Tempo

Tempo de prensagem é o tempo transcorrido a partir do momento da consolidação do colchão de partículas à espessura final, até o momento da abertura dos pratos da prensa (MATOS, 1988; IWAKIRI, 1989; IWAKIRI, 2005).

Iwakiri (2005) considera que o tempo de prensagem deve ser o suficiente para que a temperatura de cura de resina seja atingida no centro do painel, além de suficiente para a migração e liberação da umidade na forma de vapor pelas boras do painel. O tempo de prensagem pode ser definido por uma aproximação de 6 a 12 segundos por mm de espessura da chapa. Além da espessura do painel, o tempo de prensagem é diretamente proporcional à umidade do colchão e inversamente proporcional com à temperatura de prensagem.

Logo o tempo de prensagem é um fator ligado diretamente à produtividade, bem como sua redução pode implicar em economias de energia, entretanto não deve ser reduzido a ponto de resultar em um decréscimo da resistência mecânica (MATOS, 1988).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 ESPÉCIE ESTUDADAS

A espécie *Grevillea robusta* é proveniente de plantios florestais experimentais da Fazenda Osvaldo Amaral, localizada em Corupá – SC, de propriedade da Battistella Florestal, plantada em março de 1990, colhida com 19,2 anos.

As partículas de *Pinus taeda* foram coletadas de processo industriais, destinadas à camada interna de painéis de madeira aglomerada.

3.2 DESCRIÇÃO DO LOCAL E AMOSTRAGEM DO MATERIAL

3.2.1 Descrição do local

A área de coleta da *Grevillea robusta* está localizada no município de Corupá – SC, a latitude 26°23'19,32" Oeste e a longitude 49°16'50,74" Sul, e altitude de 75m. A região possui um clima da região subtropical, com temperatura média entre 15°C e 25°C. Com precipitação média anual que varia de 1200 a 1600 mm.

3.2.2 Amostragem do material em campo

A amostragem do material baseou-se na Norma Copant 458/1972, sendo coletadas 5 árvores.

Foram coletados valores da Circunferência a Altura do Peito (CAP) e após este procedimento, foram obtidas as alturas total e comercial. As árvores foram seccionadas nas alturas de 0%, DAP, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial. Em seguida foram identificadas e transportadas a UFPR.

3.2.3 Corte do material

As toras foram seccionadas, sendo gerados a partir de cada uma delas, 3 toretes de aproximadamente 0,80 m para continuidade do processamento das partículas.

3.3 PROCESSAMENTO DAS PARTÍCULAS

3.3.1 Processamento das partículas

Após a obtenção dos blocos com dimensão adequada para processamento das partículas, os mesmos foram imersos em água por 3 dias, para facilitar a geração dos cavacos, que foram geradas em picador rotativo de 4 facas, o qual pode ser observado na Figura 3 a.

O processo de secagem dos cavacos ocorreu inicialmente com redução do teor de umidade inicial, sendo esta efetuada ao ar livre. A segunda etapa ocorreu em estufa convencional elétrica com circulação de ar forçada, em temperatura de 80°C por período de 72 horas, obtendo um teor de umidade final de aproximadamente 3%, base peso seco.

Após a secagem os cavacos foram conduzidos ao moinho martelo (Figura 3 c), para redução de tamanho e obtenção das partículas tipo “*sliver*” (Figura 3 d).

3.3.2 Granulometria das partículas

A classificação das partículas ocorreu por peneiramento em classificador automático, de acordo com a Figura 3 e. Foram utilizadas peneiras cujas granulometrias atendem as especificações, ASTM 8 e ASTM 30, que correspondem a 8 e 30 *mesh* ou 2,36 e 0,59 aberturas por mm, respectivamente. As partículas que passaram na peneira de 30 *mesh* foram classificadas como finos e descartadas. As partículas que não passaram pela peneira de 30 *mesh*, foram novamente processadas no moinho martelo. Todos os painéis foram

manufaturados com as partículas classificadas entre as peneiras de 14 e 30 *mesh*, que podem ser observadas na Figura 3 f. Antes da manufatura dos painéis foi efetuada nova verificação de umidade, onde se constatou a necessidade de nova secagem de 24 horas, para atingir novamente a umidade final de aproximadamente 3%, base peso seco.



FIGURA 3 – PROCESSAMENTO DAS PARTÍCULAS

- a) Picador 4 facas b) Partículas c) Moinho martelo d) Partículas “sliver” e) Classificador partículas f) Partículas classificadas

3.4 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA RESINA

Para determinação da qualidade da resina, utilizou-se a Norma ASTM-D-1518-60:1994 e procedimentos usuais.

Os parâmetros avaliados foram Teor de Sólidos, determinado após a evaporação dos componentes voláteis; a Viscosidade foi determinada utilizando o Viscosímetro Brookfield; o pH foi determinado pela medição direta em pHmetro; a densidade da resina foi medida pela relação massa e volume.

3.5 MANUFATURA DOS PAINÉIS DE MADEIRA AGLOMERADA

3.5.1 Delineamento experimental

Seguindo os objetivos propostos neste estudo, o delineamento experimental é apresentado na Tabela 2.

Todos os tratamentos foram produzidos nas mesmas condições, conforme especificadas abaixo, com 3 painéis por tratamento.

- Dimensão do painel: 38 x 50 x 1,2 cm
- Resina Uréia Formaldeído (UF)
- Teor de sólidos da resina: 67,8 %
- Teor de resina no painel: 8 %
- Teor de umidade das partículas: 3,0 %
- Densidade nominal do painel: 0,70 g/cm³
- Composição do painel: Homogêneo
- Temperatura de prensagem: 160°C
- Pressão Específica: 40 kgf/cm²
- Tempo de prensagem: 8 min

TABELA 2 – DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Tratamento	Espécie	Proporção (%)
T1	<i>Pinus taeda</i> / <i>Grevillea robusta</i>	0 - 100
T2	<i>Pinus taeda</i> / <i>Grevillea robusta</i>	20 - 80
T3	<i>Pinus taeda</i> / <i>Grevillea robusta</i>	40 - 60
T4	<i>Pinus taeda</i> / <i>Grevillea robusta</i>	60 - 40
T5	<i>Pinus taeda</i> / <i>Grevillea robusta</i>	80 - 20
T6 ¹	<i>Pinus taeda</i> / <i>Grevillea robusta</i>	100 - 0

NOTAS: ¹ Testemunha

3.5.2 Produção dos painéis de madeira aglomerada

As partículas foram pesadas e misturadas nas proporções de acordo com o delineamento experimental.

A aplicação de adesivo ocorreu por aspersão em encoladeira rotativa (Figura 4 a).

Após essa etapa, o colchão foi formado em caixa formadora, com dimensões 50 x 38 cm, com aplicação de pré-prensagem manual para acomodação das partículas (Figura 4 b).

O colchão então foi prensado, conforme os parâmetros já descritos em 3.5.1 (Figura 4 c)



FIGURA 4 – MANUFATURA DOS PAINÉIS DE MADEIRA AGLOMERADA

- a) Encoladeira rotativa b) Formação do colchão c) Prensagem do painel d) Painel consolidado

3.6 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES DOS PAINÉIS DE MADEIRA AGLOMERADA

3.6.1 Confeção dos corpos de prova

Os painéis foram esquadrejados eliminando-se 3 cm de cada uma das bordaduras, para eliminação das partes que sofreram escoamento durante a prensagem.

A confecção dos corpos de prova segue o esquema de corte apresentado na Figura 5.



FIGURA 5 – ESQUEMA DE CORTE DOS CORPOS DE PROVA

NOTAS: FE: Flexão Estática; AA: Absorção de Água; IE: Inchamento em Espessura; ME: Massa Específica Aparente; TP: Tração Perpendicular; RAP_s: Resistência ao Arrancamento de Parafuso na superfície; RAP_t: Resistência ao Arrancamento de Parafuso no topo.

3.6.2 Climatização dos corpos de prova

Após a confecção dos corpos de prova os mesmos foram levados a câmara climática (Figura 6) com condições ambientais controladas ($20\pm 2^{\circ}\text{C}$ e $65\pm 5\% \text{ UR}$), até atingirem umidade de equilíbrio.



FIGURA 6 – CLIMATIZAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

3.6.3 Normas para determinação das Propriedades Físicas

Durante a realização dos ensaios todas as propriedades físicas foram determinadas segundo as normas a seguir.

- Massa Específica Aparente – EN 323:2002
- Absorção da Água – EN 317:2002
- Inchamento em Espessura – EN 317:2002

3.6.4 Normas para determinação das Propriedades Mecânicas

As propriedades mecânicas foram determinadas segundo as normas a seguir.

- Tração Perpendicular à superfície – EN 319:2002
- Flexão Estática – EN 310:2002
- Resistência ao Arrancamento de Parafuso – NBR 14810-2:2002

A Figura 6 ilustra a realização dos ensaios físicos e mecânicos.



FIGURA 7 - ENSAIOS FÍSICOS E MECÂNICOS

- a) Massa específica aparente, absorção de água e inchamento b) Tração perpendicular c) Flexão Estática d) Arrancamento de parafuso na superfície e) Arrancamento de parafuso no topo

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA RESINA

Na Tabela 3 são apresentados os resultados obtidos a partir da avaliação de qualidade da resina uréia formaldeído.

TABELA 3 – PARÂMETROS DE QUALIDADE DA RESINA URÉIA FORMALDEÍDO

Parâmetro	Especificação UF¹	Valores Obtidos
Densidade	1,25 – 1,30 g/cm ³	1,3 g/cm ³
Viscosidade	300 – 1000 cP	950 cP
Teor de sólidos	64 – 66 %	66 %
pH	7,4 – 9,0	7,65

NOTAS: ¹ Valores especificados pelo PNQM-ABIMCI (2004)

FONTE: O autor (2013) adaptado.

A partir da Tabela 3, verifica-se que todos os valores obtidos experimentalmente a partir da determinação da qualidade da resina, estão dentro do esperado, sendo compatíveis com os valores recomendados e especificados para confecção de painéis.

4.2 PROPRIEDADES DOS PAINÉIS

4.2.1 Propriedades Físicas

4.2.1.1 Massa Específica Aparente

Na Tabela 4 são apresentados os valores referentes à massa específica aparente, com seus respectivos coeficientes de variação. Conforme se pode observar, a Análise de Variância demonstrou que ocorreu diferença estatística significativa entre os valores médios dos seis tratamentos, com isso havendo a necessidade de ajuste destes valores através da análise de covariância.

TABELA 4 – VALORES MÉDIOS DE MASSA ESPECÍFICA APARENTE (12%) E RAZÃO DE COMPACTAÇÃO

Tratamento	Massa específica (g/cm ³)	CV (%)	Razão de compactação (g/cm ³)
T1 (P/G – 0/100)	0,70 a	6,56	1,27
T2 (P/G – 20/80)	0,68 ab	4,17	1,32
T3 (P/G – 40/60)	0,70 a	4,30	1,38
T4 (P/G – 60/40)	0,68 ab	5,24	1,45
T5 (P/G – 80/20)	0,66 bc	5,26	1,53
T6 ¹ (P/G – 100/0)	0,65 bc	3,60	1,61

NOTAS: P *Pinus taeda*; G *Grevillea robusta*; ¹ Testemunha; Médias seguidas de uma mesma letra em uma mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade.

FONTE: O autor (2013)

Os valores médios da massa específica básica das espécies utilizadas neste trabalho foram de 0,70 g/cm³ para a *Grevillea robusta* e de 0,65 g/cm³ para o *Pinus taeda*. A mistura da madeira destas duas espécies nas diferentes proporções originaram composições com massa específica no intervalo de 0,68 g/cm³ a 0,70 g/cm³. Na medida em que aumentou a proporção de *Pinus taeda* na mistura ocorreu redução na massa específica da composição e um maior desvio.

Tal fato pode ser explicado em parte, por o *Pinus taeda* apresentar menor massa específica, logo apresenta maior volume de partículas para compor o colchão, resultando na maior liberação de tensões de compressão impostas

durante o processo de prensagem conforme relatado por Moslemi (1974) e Trianoski (2010), além de uma má distribuição durante a formação do colchão.

Outra explicação para tal fato, é razão de compactação, que é a relação entre a densidade do painel e a densidade da madeira, isso influencia do modo que quanto maior a razão de compactação, maior a resistência mecânica dos painéis, devido ao material estar mais comprimido, por outro lado, o inchamento em espessura será maior, devido a maior liberação das tensões de compressão imposta durante a prensagem (IWAKIRI, 2005).

4.2.1.2 Absorção de Água e Inchamento em Espessura

Os resultados medidos de absorção de água e inchamento são apresentados na Tabela 5. Os painéis de madeira aglomerada, quando expostos a umidade sofrem alterações em sua dimensão e massa, tais fatores podem ser limitantes quanto ao seu uso.

TABELA 5 – VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 E 24 HORAS DE IMERSÃO

Tratamento	AA 2h ²		AA 24h ²		IE 2h ²		IE 24h ²	
	Média (%)	CV (%)	Média (%)	CV (%)	Média (%)	CV (%)	Média (%)	CV (%)
T1 (P/G - 0/100)	14,16 d	19,29	38,05 d	13,70	5,95 c	15,88	12,16 b	9,46
T2 (P/G - 20/80)	22,31 d	18,85	66,26 c	6,37	8,71 c	30,16	22,44 b	10,42
T3 (P/G - 40/60)	47,50 c	13,07	84,92 b	5,06	16,81 b	13,31	26,74 a	8,32
T4 (P/G - 60/40)	72,63 b	7,28	94,94 a	5,49	22,33 a	7,67	27,90 a	11,66
T5 (P/G - 80/20)	77,01 a	9,55	92,52 a	6,94	23,29 a	9,31	27,38 a	7,93
T6¹ (P/G -100/0)	85,15 a	4,31	98,43 a	3,34	27,48 a	7,69	31,41 a	9,02

NOTAS: ¹ Testemunha; Médias seguidas de uma mesma letra em uma mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade; ² Valores ajustados por ANCOVA para uma massa específica aparente de 0,67 g/cm³

FONTE: O autor (2013)

Os valores médios de absorção de água 2 e 24 horas variaram, respectivamente, na faixa de 14,16% a 85,15% e 38,05% a 98,43%. Os tratamentos T4 e T5 se mostraram estatisticamente iguais à testemunha (T6) em relação à absorção de água, exceto em 2 horas de imersão. Os tratamentos T1,

T2, T3 obtiveram resultados superiores a testemunha, demonstrando que a adição de *Grevillea robusta* em maior porcentagem aos painéis, gera uma maior resistência a água. Isso é explicado em parte pelo fato de que extrativos podem aumentar a impermeabilidade dos painéis (MOSLEMI, 1974). Importante ressaltar que não foi utilizada a adição de parafina na composição dos painéis, a qual aumenta a impermeabilidade dos mesmos, proporcionando valores inferiores para absorção de água e inchamento em espessura.

Na comparação com os resultados apresentados na literatura, os resultados de absorção de água para painéis homogêneos de *Pinus taeda* e *Grevillea robusta* obtidos neste estudo foram estatisticamente próximos aos obtidos por outros pesquisadores. Iwakiri *et al.* (1996) obtiveram para painéis aglomerados de *Pinus taeda*, valores médios de absorção de água 24 horas de 75,04%. No estudo realizado por Iwakiri *et al.* (2004), para painéis aglomerados homogêneos produzidos com *Grevillea robusta* com densidade de 0,60 e 0,80 g/cm³, os valores médios de absorção de água 24 horas obtidos foram de 42,91% e 66,59%, respectivamente. Outro estudo realizado por Trianoski (2010) encontrou valores médios de absorção de água 24 horas para *Grevillea robusta* de 40,64%

Os valores médios de inchamento em espessura 2 e 24 horas variaram respectivamente na faixa de 5,95% a 27,48% e 12,16% a 31,41%. Para os painéis homogêneos T4 e T5 não foram constatadas diferenças estatisticamente significativas entre a testemunha, tanto para 2 e 24 horas de imersão. O tratamento T1 obteve o melhor resultado, sendo estatisticamente igual ao tratamento T2, demonstrando que a adição de *Grevillea robusta* gera uma maior resistência a água, mostrando resultados com a mesma tendência dos de absorção de água, tal tendência foi explicada anteriormente.

Os resultados de inchamento em espessura 24 horas obtidos nesta pesquisa foram próximos aos valores apresentados na literatura. Iwakiri *et al.* (1996) encontraram para painéis aglomerados de *Pinus taeda*, valores médios de 30,50%. Num outro estudo, Iwakiri *et al.* (2004) encontraram para painéis aglomerados de *Grevillea robusta* produzidos com densidade de 0,60 e 0,80 g/cm³, inchamento em espessura 24 horas de 17,71% e 20,88%, respectivamente.

4.2.2 Propriedades Mecânicas

4.2.2.1 Resistência a Flexão Estática

Os resultados obtidos para o Módulo de Ruptura e para o Módulo de Elasticidade a partir do ensaio de flexão estática para os painéis de madeira aglomerada são apresentados na tabela 8. Tais propriedades mecânicas são de fundamental importância na caracterização dos painéis de madeira aglomerada, indicando o seu possível uso e conformidade com requisitos mínimos estabelecidos por normas.

TABELA 6 – VALORES MÉDIOS DO MÓDULO DE RUPTURA E MÓDULO DE ELASTICIDADE DOS PAINÉIS

Tratamento	MOR ²		MOE ²	
	Média (MPa)	CV (%)	Média (MPa)	CV (%)
T1 (P/G - 0/100)	6,92 c	21,10	1.173,01 b	19,62
T2 (P/G - 20/80)	7,67 c	23,23	1.381,52 b	14,86
T3 (P/G - 40/60)	11,56 b	12,97	1.516,96 ab	12,21
T4 (P/G - 60/40)	12,60 ab	12,85	1.579,54 a	11,95
T5 (P/G - 80/20)	13,85 a	9,89	1.635,89 a	10,43
T6¹ (P/G - 100/0)	13,94 a	9,01	1.751,47 a	9,18

NOTAS: ¹ Testemunha; Médias seguidas de uma mesma letra em uma mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade; ² Valores ajustados por ANCOVA para uma massa específica aparente de 0,67 g/cm³

FONTE: O autor (2013)

Os valores médios de módulo de ruptura (MOR) variaram na faixa de 6,92 MPa a 13,94 MPa. Os tratamentos T5 e T6 se mostraram estatisticamente semelhantes para os resultados de MOR apenas os mesmos atenderam os requisitos mínimos impostos nas normas de referência norma europeia EN 312:2003 de 13 MPa. Os demais tratamentos não atenderam os requisitos mínimos, quanto maior a porcentagem de adição de *Grevillea robusta*, maior as perdas de resistência.

Os resultados de MOR obtidos para os painéis de *Pinus taeda* foram inferiores aos valores de referência apresentados na literatura. Iwakiri *et al.* (1996) encontraram para painéis aglomerados de *Pinus taeda*, valores médios de MOR

de 16,94 MPa. Já os resultados de MOR obtidos para os painéis de *Grevillea robusta* foram semelhantes aos valores apresentados na literatura. Trianoski (2010) encontrou para painéis aglomerados de *Grevillea robusta*, valores médios de MOR de 7,04 MPa.

Os valores médios de módulo de elasticidade (MOE) variaram na faixa de 1.173,01 MPa a 1.751,47 MPa. Os tratamentos T3, T4, T5 e T6 se mostraram estatisticamente iguais para os resultados de MOE apenas os mesmos atenderam os requisitos mínimos impostos nas normas de referência norma europeia EN 312:2003 (EN, 2003) de 1600 MPa. Os demais tratamentos não atenderam os requisitos mínimos, seguindo a tendência de quanto maior a porcentagem de adição de *Grevillea robusta*, maior as perdas de resistência.

Os resultados de MOE obtidos para os painéis de *Pinus taeda* foram inferiores aos valores de referência apresentados na literatura. Iwakiri *et al.* (1996) encontraram para painéis aglomerados de *Pinus taeda*, valores médios de MOE de 2.269 MPa. Os resultados de MOE obtidos para os painéis de *Grevillea robusta* também foram inferiores aos valores apresentados na literatura, Trianoski (2010) encontrou para painéis aglomerados de *Grevillea robusta*, valores médios de MOE de 1474,57 MPa.

A média do tratamento T2 que é estatisticamente igual a testemunha obteve os maiores valores médios de MOR e MOE, com a adição de *Grevillea* em maior porcentagem acarretou uma perda de resistência mecânica. Isso se deve em parte ao fato de que elevados teores de extrativos presentes na madeira resultam em uma dificuldade de colagem (Jankowsky; 1988). Essa dificuldade de colagem pode resultar em uma linha de cola de baixo desempenho (CLOUTIER, 1998). Segundo Trianoski (2010) o *pinus taeda* apresenta 7,37% de extrativos totais, enquanto que a *Grevillea robusta* apresenta 8,32%.

Outra explicação do fato de os painéis com maior porcentagem de *Grevillea robusta* apresentaram menores valores médios de MOR e MOE, foi explicado por Trianoski (2010), a provável justificativa para a baixa resistência mecânica está relacionada a elevada quantidade de parênquima radial, gerando partículas mais fracas. Lima *et al.* (2007) no parênquima radial, são encontradas substâncias gordurosas. Trianoski *et al.* (2012) a influência negativa da espécie, provavelmente dificultando a polimerização do adesivo.

4.2.2.2 Tração Perpendicular a Superfície

TABELA 7 – VALORES MÉDIOS DE TRAÇÃO PERPENDICULAR A SUPERFÍCIE DOS PAINÉIS

Tratamento	Tração Perpendicular à Superfície ²	
	Média (MPa)	CV (%)
T1 (P/G - 0/100)	0,76 c	7,69
T2 (P/G - 20/80)	0,85 c	9,96
T3 (P/G - 40/60)	0,85 c	11,19
T4 (P/G - 60/40)	0,95 b	19,57
T5 (P/G - 80/20)	1,01 b	11,69
T6¹ (P/G -100/0)	1,14 a	11,67

NOTAS: ¹ Testemunha; Médias seguidas de uma mesma letra em uma mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade; ² Valores ajustados por ANCOVA para uma massa específica aparente de 0,67 g/cm³

FONTE: O autor (2013)

Os valores médios de tração perpendicular à superfície variaram na faixa de 0,76 MPa a 1,14 MPa. Os painéis com maior porcentagem de *Pinus taeda* apresentaram os maiores valores médios de ligação interna, estatisticamente diferentes em comparação aos painéis que contem *Grevillea robusta*.

A testemunha apresentou os maiores valores médios de tração perpendicular à superfície, com a adição de *Grevillea robusta* em maior porcentagem, demonstra uma tendência de redução de resistência mecânica quanto a tração perpendicular à superfície, entretanto todos os tratamentos atenderam os requisitos mínimos impostos na norma de referência europeia EN 312:2003 (EN, 2003) de 0,35 MPa.

Com relação aos resultados apresentados na literatura, Iwakiri et al. (1996) obtiveram para painéis de *Pinus taeda*, valores médios de 1,10 MPa. Já, Trianoski (2010) encontrou para painéis aglomerados produzidos com *Grevillea robusta* valor médio de 0,61 MPa. Portanto, os resultados de ligação interna obtidos neste estudo estão compatíveis com os valores obtidos na literatura.

Segundo Trianoski (2010) a *Grevillea robusta* apresenta elevados teores de substâncias solúveis em etanol-tolueno, que podem exercer influência negativa sobre a polimerização do adesivo, prejudicando as características de ligação interna e resistência mecânica.

4.2.2.3 Resistência ao Arrancamento de Parafuso

TABELA 8 – VALORES MÉDIOS DE RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DE PARAFUSO NA SUPERFÍCIE E NO TOPO DOS PAINÉIS

Tratamento	Superfície ²		Topo ²	
	Média (N)	CV (%)	Média (N)	CV (%)
T1 (P/G - 0/100)	990 b	9,53	824 b	9,81
T2 (P/G - 20/80)	1.023 b	6,35	903 b	12,62
T3 (P/G - 40/60)	1.038 b	15,35	938 ab	14,10
T4 (P/G - 60/40)	1.116 ab	14,80	974 ab	14,94
T5 (P/G - 80/20)	1.107 ab	12,93	977 ab	7,92
T6¹ (P/G -100/0)	1.137 a	8,63	1.042 a	12,81

NOTAS: ¹ Testemunha; Médias seguidas de uma mesma letra em uma mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade; ² Valores ajustados por ANCOVA para uma massa específica aparente de 0,67 g/cm³

FONTE: O autor (2013)

Os valores médios de resistência ao arrancamento de parafusos na superfície e topo variaram na faixa de 989,85 a 1.137,19 N e de 824,28 a 1.042,42 N, respectivamente. Todos os tratamentos são inferiores a testemunha, entretanto temos pequenas variações estatísticas entre os resultados, apenas o tratamento T1, 100% *Grevillea robusta*, não atendeu aos requisitos mínimos impostos nas normas de referência NBR 14810-2:2006.

Os resultados obtidos nesta pesquisa estão compatíveis, com os encontrados por Trianoski (2010), para painéis aglomerados produzidos com *Grevillea robusta*, cujos valores médios de resistência ao arrancamento de parafuso na superfície foram de 920,16 N, e, para arrancamento de parafuso no topo de 735,20 N, respectivamente. E por Iwakiri *et al.* (2012), para painéis aglomerados produzidos com *Pinus taeda* cujos valores médios de resistência ao arrancamento de parafuso na superfície foram de 1031 N, e, para arrancamento de parafuso no topo de 905 N, respectivamente.

Os tratamentos que contém *Grevillea robusta* em maior porcentagem se mostraram inferiores, como nos resultados anteriores, sendo justificado pelas características anteriormente descritas.

5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos nas análises realizadas durante a realização deste trabalho é possível concluir:

- A *Grevillea robusta* demonstra ser uma interessante espécie alternativa de rápido crescimento para produção de painéis de madeira aglomerada, entretanto quanto maior a porcentagem de *Grevillea robusta* na mistura com *Pinus taeda*, maior a perda de resistência mecânica dos painéis.
- A adição de *Grevillea robusta* em painéis de *Pinus taeda* tem direta influência na redução da absorção de água, o qual possivelmente está relacionado com a presença de substâncias insolúveis em água.
- Painéis de *Pinus taeda*, com adição de *Grevillea robusta* em porcentagem de até 20% base peso seco de partículas, atendem propriedades físicas e mecânicas de acordo com as especificações propostas pela Norma EN 312:2003, apresentando potencialidade para utilização em processos industriais de painéis de madeira aglomerada.

REFERÊNCIAS

ABIMCI – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Estudo setorial 2008**. Disponível em <http://www.abimci.com.br/dmd/ABIMCI_Estudo_Setorial_2008.pdf>. Acesso em 05/06/2013

ABIPA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA. **ABIPA** Disponível em <<http://www.abipa.org.br/numeros.php>> Acesso em 05/06/2013

ALBERTO, M. M. M. **Efeito da geometria das partículas e da densidade sobre as propriedades de painéis estruturais “waferboards”**. 120 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1992

BALLARIN, A.W.; LARA PALMA, H.A. Propriedades de resistência e rigidez da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* L. **Revista Árvore**, Viçosa, v.27, n.3, p.370-377, 2003.

BNDES **Painéis de Madeira Aglomerada** Carlos Alberto Roque e Antônio Carlos Valença 09/1998 Disponível em <http://www.bndes.gov.br/bndes/bndes_pt/Institucional/Publicacoes/Consulta_Expressa/Setor/Produtos_Florestais> Acesso em 05/06/2013

BRITO; BATISTA; VIDAURRE; SAMPAIO, Chapas de madeira aglomerada de uma camada de *Pinus elliottii* Engelm com a adição das cascas de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Cerne**, v. 11, n. 4, p. 369-372, 2005

CANTO, J. L.; SCHNEIDER, P. R. Crescimento da *Grevillea robusta* A. Cunn. na depressão central do Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência Florestal**, v. 14, n. 2, p.29-33, 2004.

CLOUTIER, A. Oriented Strand Board (OSB): Raw material, manufacturing process, properties, and uses. P.170-180 **Anais**, Belo Horizonte. 1998.

EMBRAPA, Sistemas de Produção *Pinus taeda*, 5 - 2ª edição ISSN 1678-8281 – Disponível <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/>> Acesso em 05/06/2013

FAO **Global demand for wood products 2008** Disponível em <<ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/011/.../i0350e02a.pdf>> Acesso em 05/06/2013

HARWOOD, E.C.; GETAHUN, A. *Grevillea robusta*: Australian tree finds success in Africa. **Agroforestry Today**, p.8, 1990.

IPT **Grevillea** 1997 Disponível em
<http://www.ipt.br/informacoes_madeiras3.php?madeira=64> Acesso em
05/06/2013

IWAKIRI; CUNHA; ALBUQUERQUE; GORNIÁK; MENDES, Produção de chapas de partículas de Madeira aglomerada de *Pinus elliottii* (Engelm) e *Eucalyptus dunnii* (Maid). **Ciências Agrárias**, Teresina, v. 15, n. 1, p. 33-41, 1996.

IWAKIRI, S. **A influência d variáveis de processamento sobre propriedades das chapas de partículas de diferentes espécies de Pinus**. 130 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989.

IWAKIRI; SILVA; MATOSKI; LEONHADT; CARON, Produção de chapas de madeira aglomerada de cinco espécies de *Pinus tropicais*. **Floresta e ambiente**, Rio de Janeiro, v. 8 n.1 p 137-138, 2001.

WAKIRI; SHIMIZU; SILVA; MENEZZI, Produção de painéis de madeira aglomerada de *Grevillea robusta* A. Cunn. Ex R. Br. Revista **Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 56-57, 2004.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba Fupef, 2005,p.123 - 158.

IWAKIRI; MATOS; TRIANOSKI; PRATA, Produção de painéis aglomerados homogêneos e multicamadas de *Melia azedarach* (Cinamomo) e *Pinus taeda* com diferentes teores de resina. **Cerne** vol.18 no.3. 2012

JANKOWSKY, I. P. **Colagem de madeiras**. Piracicaba, 1988.

KELLY, M. W. **A Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboards**. U.S. For. Prod. Lab. General Technical Report p14-16, 1977

KLOCK, U. **Qualidade da Madeira de Pinus maximinoi H. E. Moore**. (Tese Doutorado) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

LIMA; MENDES; MORI; CARNEIRO, Características anatômicas e química da madeira de clones de *Eucalyptus* e sua influência na colagem. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 2, p. 123-129, 2007.

MACEDO, A.R.P.; ROQUE, C.A.L. **Painéis de madeira**. Disponível em <www.bndes.gov.br/paineisdemadeira-macedo> Acesso em 05/06/2013

MAINIERI, C. **Fichas de Características de Madeiras Brasileiras**. Publicação IPT, São Paulo (966), 1978.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing**. São Francisco: Miller Freeman, 1993.

MARTINS, E. G., NEVES, E. J. M. *Grevillea robusta* Cunn.: Sementes melhoradas para usos múltiplos. **Comunicado Técnico**. Embrapa Florestas, 2004.

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

MARCHIORI, J. N. C. Anatomia descritiva *Grevillea*. dez. 1996. Consultado em **Embrapa Florestas** 2013.

MENDES, L. M. et al. Influência do teor de resina, temperatura e tempo de prensagem na umidade de equilíbrio de painéis de partículas de madeira. **Cerne**, v. 12, n. 4, p. 345-350, 2006

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

PEARSON; GILMORE, Efeito da taxa de crescimento rápido das propriedades mecânicas de *Pinheiro Loblolly*. **Forest Products Journal** 1980 Vol. 30, No. 5 pp 47-57

OIKAWA, I., MATOS, J. L. M.; TRIANOSKI, R. Caracterização tecnológica da espécie *Grevillea robusta*. 17 EVINCI, **Anais** 2009.

Soratto, **Efeitos da adição de cavaco com casca na qualidade de painéis MDP produzidos com *Eucalyptys sp.*** Pelotas 2013

TRIANOSKI, **Avaliação do potencial de espécies florestais alternativas, de rápido crescimento, para produção de painéis de madeira aglomerada**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Universidade Federal do Paraná, Curitiba,, 2010.

ANEXO

RESUMO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DOS PAINÉIS

TABELA 11 – RESUMO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS

Tratamento	ME ²	AA ² 2h	AA ² 24h	IE ² 2h	IE ² 24h	Flexão MOR	Flexão MOE	Tração	RAP Superf.	RAP Topo
	(g/cm ³)	(%)	(%)	(%)	(%)	MPa	MPa	MPa	N	N
T1 (P/G - 0/100)	0,70	14,2	38,1	6,0	12,2	6,9	1173	0,76	990	824
T2 (P/G - 20/80)	0,68	22,3	66,3	8,7	22,4	7,7	1382	0,85	1023	903
T3 (P/G - 40/60)	0,70	47,5	84,9	16,8	26,7	11,6	1517	0,85	1038	938
T4 (P/G - 60/40)	0,68	72,6	94,9	22,3	27,9	12,6	1580	0,95	1116	974
T5 (P/G - 80/20)	0,66	77,0	92,5	23,3	27,4	13,9	1636	1,01	1107	977
T6 ¹ (P/G -100/0)	0,65	85,2	98,4	27,5	31,4	13,9	1752	1,14	1137	1042
EN 312						13	1600	0,35		
NBR 14810-2									1020	800

NOTAS: ¹ Testemunha; ² As normas de referência não dispõem requisitos mínimos para esta propriedade; Os valores em vermelho não atendem aos requisitos mínimos prescritos pela normas de referência.