

Incorporação de *Grevillea robusta* na Produção de Painéis Aglomerados de *Pinus*

Rosilani Trianoski¹, Arnaldo Barros Rezende Piccardi², Setsuo Iwakiri¹,
Jorge Luis Monteiro de Matos¹, Ghislaine Miranda Bonduelle¹

¹Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal – DETF, Universidade Federal do Paraná - UFPR, Curitiba/PR, Brasil

²Curso de Engenharia Industrial Madeireira, Universidade Federal do Paraná - UFPR, Curitiba - PR, Brasil

RESUMO

Estudos relativos ao potencial tecnológico de espécies alternativas de rápido crescimento são de grande importância, tendo em vista aumentar a oferta de matéria prima para as indústrias de base florestal, especialmente para as indústrias de painéis aglomerados. Neste contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade de utilização da *Grevillea robusta* em diferentes misturas com *Pinus taeda* para a produção de painéis aglomerados, bem como, estabelecer a quantidade máxima de incorporação desta espécie numa matriz industrial. Os painéis foram produzidos com as espécies puras e em diferentes misturas, com densidade nominal de 0,70 g/cm³ e resina uréia-formaldeído (8%). Os resultados indicaram que o tratamento constituído de 20% *Grevillea robusta* e 80% de *Pinus taeda* atendem os requisitos mínimos das propriedades mecânicas segundo a norma EN 312 (além da testemunha) e que a máxima incorporação de madeira de *Grevillea robusta* numa matriz de *Pinus* é de 26%.

Palavras-chave: painéis de madeira, uréia-formaldeído, espécies alternativas.

Incorporation of *Grevillea robusta* in the Production of Particleboards of *Pinus*

ABSTRACT

Studies on the potential use of alternative fast growing species are of great importance, in order to increase the supply of raw material for forest based industries, especially for particleboard factories. In this context, this study aimed to evaluate the feasibility of use of the *Grevillea robusta* in mixture with *Pinus taeda* for the particleboards production, as well as, to establish the maximum amount of incorporation of this species in the industrial process. The panels were produced with the species without mixtures and in different proportions of the replacement of the *Pinus* by *Grevillea* wood, with a nominal density of 0.70 g/cm³ and urea-formaldehyde resin (8%). The results showed that treatment with 20% *Grevillea robusta* and 80% of *Pinus taeda* meet the minimum requirements of the mechanical properties according to EN 312 (and a control) and the maximum replacement of *Pinus* by *Grevillea robusta* wood is 26%.

Keywords: wood panels, urea-formaldehyde, alternative species.

1. INTRODUÇÃO

Estudos relativos ao potencial tecnológico de espécies alternativas de rápido crescimento para usos múltiplos são de grande importância, tendo em vista aumentar a oferta de matéria prima para as indústrias de base florestal. Entre as indústrias que consomem grande volume de madeira em seu processo produtivo, encontra-se a de painéis de madeira.

No Brasil, a principal matéria prima utilizada por esta indústria é o *Pinus* spp., por ser uma espécie de baixa massa específica e grande disponibilidade de plantios florestais (Fiorelli et al., 2014), e em menor quantidade o *Eucalyptus* spp. (Cabral et al., 2007). Além destas, outras espécies têm sido avaliadas tecnologicamente para esta finalidade, buscando ampliar a oferta de matéria-prima e melhorar a qualidade do produto final, onde pode-se citar os estudos realizados por Bufalino et al. (2012) com *Toona ciliata*; Iwakiri et al. (2012) com *Melia azedarach*; Trianoski et al. (2013) com *Cryptomeria japonica*; Napoli et al. (2013) com *Mimosa scabrella* e *Hovenia dulcis*; Martins et al. (2014) com *Cecropia pachystachya*, assim como resíduos agrícolas, como casca de arroz, de algodão e de coco, e do processamento mecânico da madeira, conforme mencionado por Mamza et al. (2014).

Cada espécie, em função das características diferenciadas do lenho, apresenta diferente composição química e anatômica, que influenciam diretamente a densificação, polimerização do adesivo e consolidação do painel (Moslemi, 1974; Kelly, 1977; Maloney, 1993), sendo que muitas não apresentam viabilidade de utilização na sua forma pura. Entre estas, pode-se destacar a *Grevillea robusta*, onde, segundo estudo realizado por Trianoski et al. (2011b), essa espécie, quando utilizada desta forma para produção de painéis aglomerados homogêneos apresentou qualidade insatisfatória, não atendendo os requisitos mínimos normativos. Segundo estes autores, tais resultados ocorreram pelo elevado teor de extrativos em etanol-tolueno presentes na espécie, os quais, segundo Sarto & Sansigolo (2010) se caracterizam por ceras, resinas, graxas, óleos e compostos insolúveis.

Em outro estudo realizado com a *Grevillea robusta*, Trianoski et al. (2011a), observaram que a utilização da espécie em painéis aglomerados de três camadas combinada com *Pinus*, gerou melhoria das propriedades

físicas e mecânicas quando estes foram comparados com o painel puro, no entanto, as combinações nem sempre resultaram em painéis que atendessem os requisitos mínimos em todas as propriedades. Outro fato constatado por estes autores, a partir do ensaio de tração perpendicular, foi que, os tratamentos apresentaram ruptura no local de transição das camadas, demonstrando fragilidade no contato entre partículas quando a formação do colchão é realizada em múltiplas camadas.

Considerando a importância de ampliar a diversidade e disponibilidade de matéria prima para a indústria de painéis aglomerados, bem como buscar alternativas de uso para melhorar o desempenho de determinadas espécies para esta finalidade, e ainda, baseando-se nas informações disponibilizadas nas pesquisas anteriores, este trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade de utilização da *Grevillea robusta* em diferentes misturas com *Pinus taeda* para a produção de painéis aglomerados, bem como, estabelecer a quantidade máxima de incorporação desta espécie numa matriz industrial.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento desta pesquisa foram coletadas 5 árvores de *Grevillea robusta* e 5 árvores de *Pinus taeda*, ambas provenientes de plantios experimentais. A *Grevillea robusta* foi coletada no plantio experimental da empresa Battistella Florestas, localizado em Corupá-SC (49°16'50,74"S, 26°23'19,32"O), e possuía na época de coleta, 19,2 anos de idade. O *Pinus taeda* foi obtido junto ao plantio experimental da empresa Valor Florestal, situada em Ventania-PR (24°14'45"S, 50°14'34"W), e possuía 18 anos de idade.

As árvores foram selecionadas de acordo com a Norma COPANT 458:1972 (COPANT, 1972a), derrubadas e seccionadas, retirando-se amostras nas alturas de 0%, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial para determinação da massa específica básica, a qual seguiu a metodologia recomendada pela Norma COPANT 461/1972 (COPANT, 1972b). Amostras representativas de todo o fuste foram coletadas para geração dos cavacos, os quais foram obtidos em picador de disco, com dimensões nominais de 25 mm de comprimento, 0,7 mm de espessura e largura variável e reprocessados em moinho de martelo, para obtenção das

partículas tipo “*sliver*”. Após a obtenção destas partículas foi realizada uma amostragem conforme a norma TAPPI 257:2002 (TAPPI, 2002b), para determinação das propriedades químicas. As partículas amostradas foram submetidas ao moinho de facas tipo Wiley, gerando material de menor granulometria, o qual foi classificado em peneiras de 40 e 60 *mesh*, conforme norma TAPPI 264:1997 (TAPPI, 1997b).

As propriedades químicas avaliadas foram solubilidade em água fria e água quente conforme a TAPPI 207:1999 (TAPPI, 1999a), extrativos em etanol-tolueno conforme TAPPI 280:1999 (TAPPI, 1999b), extrativos totais segundo a TAPPI 204:1997 (TAPPI, 1997a), materiais inorgânicos de acordo com a TAPPI 211:2002 (TAPPI, 2002c) e pH conforme TAPPI 252:2002 (TAPPI, 2002a), cujas análises foram realizadas em triplicata.

O restante das partículas “*sliver*” foi classificado em peneiras com granulometrias de 8 e 30 *mesh*, e secas a um teor de umidade final de 3% para a geração dos painéis experimentais, os quais foram produzidos a partir de um delineamento inteiramente casualizado com três repetições por tratamento, conforme Tabela 1.

Na produção dos painéis foi utilizada resina ureia-formaldeído, com teor de sólidos de 66,0%, viscosidade Brookfield de 950 cP, pH de 7,65, densidade de 1,30 g/cm³ e tempo de gelatinização de 1,04 min. A resina foi aplicada na proporção de 8% de sólidos em relação ao peso seco de partículas. Os painéis foram manufaturados de forma homogênea com dimensões de 500 × 380 × 13 mm, massa específica nominal de 0,70 g/cm³, e consolidados utilizando temperatura de 160 °C, pressão específica de 4 MPa e tempo de

prensagem de 8 minutos. Após a manufatura dos painéis, os mesmos foram conduzidos à câmara climática com condições ambientais controladas (20±2°C e 65±5% UR), até atingirem umidade de equilíbrio.

As propriedades dos painéis foram determinadas de acordo com a metodologia proposta pelas Normas Européias EN 323, 317, 310 e 319 (EN, 2002a, b, c, d), e pela Norma NBR 14810-3 (ABNT, 2006b), respectivamente para massa específica aparente, absorção de água e inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão, flexão estática, tração perpendicular à superfície e resistência ao arrancamento de parafuso. Os valores experimentais foram comparados com os requisitos propostos pela Norma EN 312 (EN, 2003) e pela Norma NBR 14810-2 (ABNT, 2006a), e com os valores obtidos a partir do tratamento testemunha (T1 – 100% *Pinus taeda*).

O comportamento dos dados foi avaliado por meio dos testes de Grubbs, Shapiro Wilks, Bartlett, Análise de Variância, e comparação de médias de Tukey. Para determinar o percentual adequado de *Grevillea robusta* na matriz de *Pinus taeda* foi realizada análise de regressão simples. Todos os testes foram realizados no pacote estatístico Statgraphics, à 95% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Propriedades da madeira

A Tabela 2 apresenta os resultados médios obtidos para as propriedades físico-químicas das madeiras de *Grevillea robusta* e *Pinus taeda*. A *Grevillea robusta* apresentou massa específica baixa, cujo valor médio é bastante similar ao valor encontrado para o *Pinus taeda*, não sendo constatada diferença estatística significativa entre ambas as espécies. Este resultado, além de indicar que a *Grevillea robusta* apresenta faixa de variação da massa específica adequada para produção de painéis particulados que é de até 0,55 g/cm³ (Moslemi, 1974; Maloney, 1993), demonstra que, por apresentar valor similar ao *Pinus taeda*, esta propriedade não influenciará acentuadamente a razão de compactação, e consequentemente, as propriedades do produto final.

Os valores médios obtidos a partir da análise química e consequentemente da análise de variância, indicaram diferença estatística significativa entre as duas espécies para todas as propriedades avaliadas.

Tabela 1. Delineamento experimental.
Table 1. Experimental design.

Tratamento	Espécie	Proporção (%)
1	<i>Grevillea robusta</i>	100
2	<i>Grevillea robusta</i> - <i>Pinus taeda</i>	80-20
3	<i>Grevillea robusta</i> - <i>Pinus taeda</i>	60-40
4	<i>Grevillea robusta</i> - <i>Pinus taeda</i>	40-60
5	<i>Grevillea robusta</i> - <i>Pinus taeda</i>	20-80
6	<i>Pinus taeda</i>	100

Verifica-se que a espécie *Grevillea robusta* apresenta os maiores valores médios de solubilidade e extrativos, o que sugere que possivelmente é uma espécie que tende a apresentar maiores problemas quanto à penetração e polimerização do adesivo, conforme sugerido em estudos anteriores.

3.2 Propriedades dos painéis

Na Tabela 3 estão apresentados os valores médios da massa específica das diferentes proporções das madeiras utilizadas para compor os tratamentos, massa específica aparente dos painéis e razão de compactação. Verifica-se que a massa específica das madeiras em diferentes proporções apresentaram valores de 0,485 a 0,494 g/cm³, variação de apenas 0,009 g/cm³ entre esses limites,

Tabela 2. Resultados médios das propriedades físico-químicas das madeiras de *Grevillea robusta* e *Pinus taeda*.

Table 2. Average results of the physic-chemicals properties of the woods of *Grevillea robusta* e *Pinus taeda*.

Propriedade	<i>Grevillea robusta</i>	<i>Pinus taeda</i>
Massa específica básica (g/cm ³)	0,494 a (5,62)	0,485 a (6,08)
Solubilidade em água fria (%)	4,59 a (0,93)	1,45 b (10,31)
Solubilidade em água quente (%)	4,83 a (1,02)	2,90 b (3,22)
Extrativos em etanol-tolueno (%)	8,17 a (1,46)	2,86 b (6,67)
Extrativos totais (%)	8,32 a (2,42)	3,34 b (7,20)
pH	5,34 a (1,19)	4,68 b (1,42)
Materiais inorgânicos (%)	0,41 a (3,70)	0,28 b (2,45)

Médias seguidas da mesma letra na mesma linha são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade; Valores entre parênteses indicam o coeficiente de variação das amostras.

indicando pouca influência desta variável sobre as propriedades dos tratamentos propostos. Em relação à massa específica aparente dos painéis, nota-se valores médios estatisticamente diferentes entre si, sendo este resultado atribuído às condições operacionais em nível laboratorial, e, portanto, necessidade de aplicação de análise de covariância para eliminar o efeito desta variável sobre as demais propriedades dos painéis.

Os valores médios da razão de compactação demonstraram que todos os tratamentos atingiram o valor mínimo de 1,3, e de acordo com o intervalo mencionado por Kelly (1977), Moslemi (1974) e Maloney (1993), indicando contato adequado entre partículas. Foi evidenciada diferença estatística significativa entre os tratamentos, onde os valores da massa específica dos painéis afetaram mais diretamente o resultado da razão de compactação do que propriamente o valor da massa específica da madeira e das proporções, visto que a diferença desta propriedade entre as duas espécies é muito menor (0,009 g/cm³) quando comparada com a variação da massa específica dos painéis (0,047 g/cm³).

Na Tabela 4 são apresentados os valores médios da absorção de água e do inchamento em espessura dos diferentes tratamentos após 2 e 24 horas de imersão. Observa-se que o aumento do percentual de partículas de *Pinus taeda* gerou um aumento na taxa de absorção de água nas duas condições de imersão avaliadas. Este resultado pode ser explicado pelo fato que a espécie *Grevillea robusta* apresenta elevado teor de extrativos em etanol-tolueno, os quais segundo Sarto & Sansigolo (2010), se caracterizam por ceras, óleos, resinas, graxas e componentes insolúveis em éter etílico. Estes componentes, provavelmente atuam como inibidores da absorção de água, tornando o painel menos higroscópico.

Não foi constatada diferença estatística significativa entre os tratamentos 1 e 2, respectivamente para painéis

Tabela 3. Resultados médios da massa específica das proporções e dos painéis e razão de compactação.

Table 3. Average results of the proportions and panels density and compression ratio.

Tratamento	Massa específica da proporção (g/cm ³)	Massa específica dos painéis (g/cm ³)	Razão de compactação
1 (100% Gr)	0,494	0,700 a (6,56)	1,40 a (5,81)
2 (80% Gr-20% Pt)	0,492	0,692 ab (4,17)	1,39 a (4,44)
3 (60% Gr-40% Pt)	0,490	0,698 a (4,30)	1,39 a (4,54)
4 (40% Gr-60% Pt)	0,489	0,680ab (5,24)	1,32 c (4,90)
5 (20% Gr-80% Pt)	0,487	0,656 bc (5,26)	1,33 c (5,02)
6(100% Pt)	0,485	0,653 bc (3,60)	1,35 bc (4,70)

Tabela 4. Resultados médios de absorção de água e inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão.**Table 4.** Average results of water absorption and thickness swelling after 2 and 24 hours immersion.

Tratamento	AA 2h	AA 24h	IE 2h	IE 24h
	(%)	(%)	(%)	(%)
1 (100% Gr)	14,16 c (19,29)	38,05 d (13,70)	5,95 c (15,88)	12,16 b (9,46)
2 (80% Gr-20% Pt)	22,31 c (18,85)	66,26 c (6,37)	8,71 c (30,16)	22,44 b (10,42)
3 (60% Gr-40% Pt)	47,50 b (13,07)	84,92 b (5,06)	16,81 b (13,31)	26,74 a (8,32)
4 (40% Gr-60% Pt)	72,63 a (7,27)	94,94 a (5,49)	22,33 a (7,67)	27,90 a (11,66)
5 (20% Gr-80% Pt)	77,01 a (9,55)	95,52 a (6,94)	23,29 a (9,31)	27,38 a (7,93)
6(100% Pt)	85,15 a (4,31)	98,43 a (3,34)	27,48 a (7,69)	31,41 a (9,02)

Gr: *Grevillea robusta*; Pt: *Pinus taeda*; Médias seguidas de uma mesma letra em uma mesma coluna são estatisticamente iguais pelo Teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade; Valores entre parênteses indicam o coeficiente de variação das amostras; Valores ajustados por ANCOVA para uma massa específica aparente de 0,67 g/cm³.

constituídos de 100% de partículas de *Grevillea robusta*, e, 80% de *Grevillea robusta* e 20% de *Pinus taeda*, no intervalo de imersão de 2 horas. Já os tratamentos 4, 5 e 6, cuja inserção de partículas de *Pinus taeda* é igual ou superior a 60%, demonstram que, a partir deste percentual não existe mais diferença estatística significativa, tanto para o tempo de imersão de 2 horas, quanto para 24 horas.

Os valores médios de inchamento em espessura apresentaram comportamento similar ao ensaio de absorção de água, verificando-se que o aumento de partículas de *Pinus taeda* torna o painel menos estável. O maior teor de extrativos presentes na *Grevillea robusta*, conforme apresentado na Tabela 2, faz com que estes componentes atuem na inibição da higroscopicidade e consequentemente no inchamento em espessura. Nota-se ainda que, não existe diferença estatística significativa entre os painéis produzidos com até 20% de partículas de *Pinus* nos dois intervalos de imersão, assim como, não há diferença estatística significativa entre os tratamentos produzidos com percentual igual ou superior a 60%, também para os dois intervalos de imersão. Nenhum dos tratamentos propostos atendeu o requisito mínimo de absorção de água da norma EN 312 (EN, 2003), de 8% para o tempo de imersão de 2 horas.

Em comparação com outros trabalhos realizados com a espécie, observa-se que Iwakiri et al. (2004), estudando diferentes densidades (0,6 e 0,8 g/cm³) e teores de resina (6% e 8%), obteve resultados de 15,32% a 66,59% para absorção de água, e de 8,57% a 25,62% para inchamento em espessura, onde painéis menos densos e com maior teor de resina (0,6 g/cm³ e 8%) apresentaram os melhores resultados. Considerando

esta variação nas propriedades físicas, verifica-se que os resultados obtidos nesta pesquisa para o tratamento 1 (100% de *Grevillea robusta*), apresentam-se mais estáveis quando comparados com todos os tratamentos produzidos pelos autores anteriormente mencionados.

Em relação ao trabalho desenvolvido por Trianoski et al. (2011a), cujos valores médios de absorção de água e inchamento em espessura variaram de 7,56% a 36,63% e de 11,02% a 22,16% respectivamente, em painéis de 3 camadas, nota-se que estes valores são similares apenas ao tratamento 1 (AA e IE), e ao tratamento 2 (apenas IE). A incorporação de partículas de *Pinus* de forma mista, demonstra com isso, aumento da instabilidade dimensional.

Na Tabela 5 são apresentados os valores médios das propriedades mecânicas dos painéis aglomerados de *Grevillea robusta*, *Pinus taeda* e das diferentes proporções entre as duas espécies.

De acordo com os resultados apresentados, os tratamentos 4, 5 e 6, produzidos com percentual de partículas de *Pinus taeda* igual ou superior a 60% são estatisticamente iguais entre si no ensaio de módulo de ruptura e módulo de elasticidade a flexão, formando um grupo superior em termos de resistência e rigidez. Já os tratamentos 1 e 2, que possuem maior quantidade de *Grevillea robusta* não diferem entre si neste ensaio, e constituem um grupo inferior. Observa-se ainda, que embora o aumento de partículas de *Pinus* contribua positivamente para os valores de MOR e MOE, apenas os tratamentos 5 e 6 atendem o requisito mínimo normativo da EN 312 (EN, 2003), que é de 13 MPa para o módulo de ruptura e 1.600 MPa para o módulo de elasticidade, onde, o tratamento 6 é o tratamento

constituído de 100% de partículas de *Pinus*, sendo este, o tratamento testemunha.

Os resultados médios de tração perpendicular demonstraram tendência de aumento da propriedade com aumento do percentual de partículas de *Pinus*, onde os tratamentos produzidos com até 40% de *Pinus* (1, 2 e 3) formam um grupo de resistência inferior, os tratamentos 4 e 5 com a utilização de 60% e 80% de *Pinus* um grupo intermediário e o tratamento 6, testemunha (100% de *Pinus*), é estatisticamente superior aos demais. Embora possam ser estabelecidos grupos de resistência à tração, todos os tratamentos apresentaram o requisito mínimo normativo, de 0,35 MPa.

Em relação à resistência ao arrancamento de parafuso, verifica-se também, um aumento da propriedade com a redução do percentual de partículas de *Grevillea*. Com exceção do tratamento 1, produzido com 100% de partículas dessa espécie, todos os tratamentos atingiram o valor mínimo preconizado pela norma NBR 14.810-2 (ABNT, 2006a) de 1020 N para o ensaio realizado na superfície e 800 N para o ensaio no topo. Nenhum tratamento apresentou resistência superior à testemunha, no entanto, os tratamentos 4 e 5, com incorporação de até 40% de *Grevillea* são estatisticamente iguais à testemunha no ensaio de superfície, e não diferem dos demais tratamentos. Para o ensaio de topo verifica-se que os tratamentos 3, 4 e 5, com incorporação de até 60% de *Grevillea*, são estatisticamente iguais quando comparados com o tratamento produzido exclusivamente com *Pinus* e que não há diferença estatística significativa entre os painéis que utilizaram qualquer proporção de *Grevillea robusta*.

Considerando o trabalho realizado por Iwakiri et al. (2004), observa-se que estes autores obtiveram valores médios para o módulo de ruptura de 10,10 MPa (103 kgf/cm²) a 17,36 MPa (177 kgf/cm²), módulo de elasticidade entre 1.434,71 MPa (14.630 kgf/cm²) e 2.177,86 MPa (22.208 kgf/cm²) e tração perpendicular de 0,23 MPa (2,32 kgf/cm²) a 0,71 MPa (7,21 kgf/cm²), onde estes resultados indicaram que dos 4 tratamentos propostos, apenas um, (0,8 g/cm³ e 8%) atenderam os requisitos mínimos da EN 312 (EN, 2003). Desta forma, sugere-se produzir painéis de *Grevillea* de alta densificação, ou então, incorporar outra espécie, como por exemplo o *Pinus*, consumindo menor quantidade de matéria prima (madeira e adesivo), o que gera ganhos em termos de redução do custo de produção.

Com base nos requisitos mínimos estabelecidos pela norma EN 312 (EN, 2003), e considerando os resultados obtidos no presente trabalho, as Figuras 1 e 2 apresentam a análise de regressão para estabelecer o

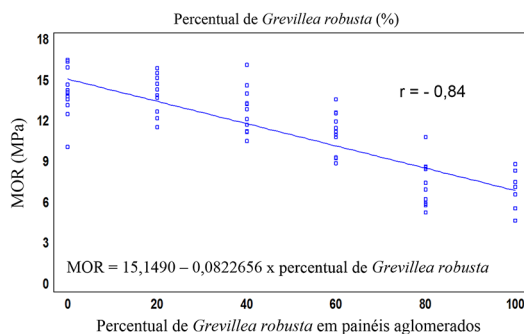


Figura 1. Estimativa do percentual aceitável de *Grevillea robusta* no módulo de ruptura de painéis aglomerados. **Figure 1.** Estimated percentage of acceptable *Grevillea robusta* in the modulus of rupture of particleboards.

Tabela 5. Resultados médios das propriedades mecânicas. **Table 5.** Average results of mechanical properties.

Tratamento	MOR	MOE	TP	RAP	
	(MPa)	(MPa)		Superfície (N)	Topo (N)
1 (100% Gr)	6,92 c (21,10)	1.173,01 b (19,62)	0,76 c (7,69)	990 b (9,53)	824 b (9,21)
2 (80% Gr-20% Pt)	7,67 c (23,23)	1.381,52 b (14,86)	0,85 c (9,96)	1.023 b (6,35)	903 b (12,62)
3 (60% Gr-40% Pt)	11,56 b (12,07)	1.516,96 ab (12,21)	0,85 c (11,19)	1.038 b (15,35)	938 ab (14,10)
4 (40% Gr-60% Pt)	12,60 ab (12,85)	1.579,54 a (11,95)	0,95 b (19,57)	1.116 ab (14,80)	974 ab (14,94)
5 (20% Gr-80% Pt)	13,85 a (9,89)	1.635,89 a (10,43)	1,01 b (11,69)	1.107 ab (12,93)	977 ab (7,92)
6 (100% Pt)	13,94 a (9,01)	1.751,47 a (9,18)	1,14 a (11,67)	1.137 a (8,63)	1.042 a (12,81)

Gr: *Grevillea robusta*; Pt: *Pinus taeda*; Médias seguidas de uma mesma letra em uma mesma coluna são estatisticamente iguais pelo Teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade; Valores entre parênteses indicam o coeficiente de variação das amostras; Valores ajustados por ANCOVA para uma massa específica aparente de 0,67 g/cm³.

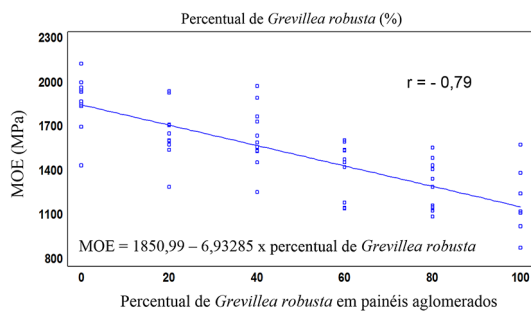


Figura 2. Estimativa do percentual aceitável de *Grevillea robusta* no módulo de elasticidade de painéis aglomerados.

Figure 2. Estimated percentage of acceptable *Grevillea robusta* in the modulus of elasticity of particleboards.

percentual máximo de partículas de *Grevillea robusta* a ser incorporada no processo produtivo. Ressalta-se que, foram realizadas análises para as propriedades de MOR e MOE apenas, pois as propriedades de tração perpendicular e arrancamento de parafuso atendem os requisitos mínimos em qualquer percentual de mistura.

Para obtenção de um módulo de ruptura à flexão estática de 13 MPa, requisito mínimo estabelecido pela norma de referência, deve-se utilizar o percentual de até 26% *Grevillea robusta*. No caso do módulo de elasticidade à flexão, cujo requisito mínimo é de 1.600 MPa, admite-se uma incorporação de até 36%, no entanto, para se atender a propriedade anterior, sugere-se a incorporação de até 26% de partículas de *Grevillea robusta* numa matriz industrial de *Pinus*.

4. CONCLUSÕES

- O aumento da proporção de partículas de *Pinus* reduziu a estabilidade dimensional dos painéis, mas em contrapartida influenciou positivamente as propriedades mecânicas.
- O percentual máximo de *Grevillea robusta* recomendado numa matriz industrial com a utilização de parâmetros de produção similares, obtido pela análise de regressão e de acordo com as normas europeias, é de 26%.

STATUS DA SUBMISSÃO

Recebido: 10 maio, 2015

Aceito: 18 out., 2015

AUTOR(ES) PARA CORRESPONDÊNCIA

Rosilani Trianoski

Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Universidade Federal do Paraná – UFPR, Av. Pref. Lothário Meissner, 632, Jardim Botânico, CEP 80210170, Curitiba, PR, Brasil
e-mail: rosillani@gmail.com

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. NBR 14810 – 2: Chapas de madeira aglomerada – Parte 2 – Requisitos. São Paulo; 2006a.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. NBR 14810 – 3: Chapas de madeira aglomerada – Parte 3 – Métodos de Ensaio. São Paulo; 2006b.
- Bufalino L, Protásio TP, César AAS, Sá VA, Mendes LM. Modelagem das propriedades físicas e mecânicas em painéis aglomerados de cedro australiano. *Floresta e Ambiente* 2012; 19(2): 243-249. <http://dx.doi.org/10.4322/floram.2012.029>.
- Cabral CP, Vital BR, Lucia RMD, Pimenta AS. Propriedades de chapas de aglomerado confeccionadas com misturas de partículas de *Pinus spp* e *Pinus elliottii*. *Árvore* 2007; 31(5): 897-905.
- Comissão Panamericana de Normas Técnicas – COPANT. COPANT 458: Maderas – Selección y colección de muestras. La Paz; 1972a.
- Comissão Panamericana de Normas Técnicas – COPANT. COPANT 461: Maderas – Determinación del peso específico aparente. La Paz; 1972b.
- European Standards – EN. EN 323: Determinação da massa volúmica. Bruxelas; 2002a.
- European Standards – EN. EN 317: Determination of swelling in thickness after immersion in water. Bruxelas; 2002b.
- European Standards – EN. EN 310: Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength. Bruxelas; 2002c.
- European Standards – EN. EN 319: Determinação da resistência à tração perpendicular às faces da placa. Bruxelas; 2002d.
- European Standards – EN. EN 312: Particleboards – Specifications. Bruxelas; 2003.
- Fiorelli J, Gomide CA, Lahr FAR, Nascimento MF, Sartori DL, Ballesteros JEM et al. Physicochemical and anatomical characterization of residual lignocellulosic fibers. *Cellulose* 2014; 21(5): 3269-3277. <http://dx.doi.org/10.1007/s10570-014-0398-9>.
- Iwakiri S, Matos JLM, Trianoski R, Prata JG. Produção de painéis aglomerados homogêneos e multicamadas de

- Melia azedarach* (Cinamomo) e *Pinus taeda* com diferentes teores de resina. *Cerne* 2012; 18(3): 465-470. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-77602012000300014>.
- Iwakiri S, Shimizu J, Silva JC, Del Menezzi CHS, Puehringer CA, Venson I, Laroca C. Produção de painéis de Madeira aglomerada de *Grevillea robusta* A. Cunn. *Árvore* 2004; 28(6): 56-60.
- Kelly MWA. *Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboards*. Madison: FPL; 1977.
- Maloney TM. *Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing*. São Francisco: Miller Freeman; 1993.
- Mamza PAP, Ezeh EC, Gimba EC, Arthur DE. Comparative study of phenol formaldehyde and urea formaldehyde particleboards from wood waste for sustainable environment. *International Journal Of Scientific and Technology Research* 2014; 3(9): 53-61.
- Martins EH, Guimarães JB Jr, Protásio TP, Mendes RF, Mendes LM. Painéis aglomerados convencionais produzidos com madeira de *Cecropia pachystachya*. *Biosfera* 2014; 10(19): 1418-1425.
- Moslemi AA. *Particleboard*. London: Southern Illinois University Press; 1974.
- Napoli LM, Sanches FL, Iwakiri S, Hillig E. Propriedades físicas da madeira e de painéis aglomerados produzidos com misturas de espécies florestais. *Floresta* 2013; 43(3): 475-484. <http://dx.doi.org/10.5380/ufv.v43i3.26204>.
- Sarto C, Sansigolo CA. Cinética da remoção dos extrativos da madeira de *Eucalyptus grandis* durante polpação Kraft. *Acta Scientiarum* 2010; 32(3): 227-235.
- Technical Association of the Pulp and Paper Industry – TAPPI. *TAPPI 204: Solvent extractives of wood and pulp*. Atlanta; 1997a.
- Technical Association of the Pulp and Paper Industry – TAPPI. *TAPPI 264: Preparation of wood for chemical analysis*. Atlanta; 1997b.
- Technical Association of the Pulp and Paper Industry – TAPPI. *TAPPI 207: Water solubility of wood and pulp*. Atlanta; 1999a.
- Technical Association of the Pulp and Paper Industry – TAPPI. *TAPPI 280: Acetone extractives of wood and pulp*. Atlanta; 1999b.
- Technical Association of the Pulp and Paper Industry – TAPPI. *TAPPI 252: pH and electrical conductivity of hot water extracts of pulp, paper, and paperboard*. Atlanta; 2002a.
- Technical Association of the Pulp and Paper Industry – TAPPI. *TAPPI 257: Sampling and preparing wood for analysis*. Atlanta; 2002b.
- Technical Association of the Pulp and Paper Industry – TAPPI. *TAPPI 211: Ash in wood, pulp, paper and paperboard: combustion at 525 °C*. Atlanta; 2002c.
- Trianoski R, Iwakiri S, Matos JLM, Chies D. Utilização da madeira de *Cryptomeria japonica* para produção de painéis aglomerados. *Scientia Forestalis* 2013; 41(97): 57-64.
- Trianoski R, Iwakiri S, Matos JLM, Prata JG. Avaliação de espécies alternativas de rápido crescimento para produção de painéis de madeira aglomerada de três camadas. *Scientia Forestalis* 2011a; 39(89): 97-104.
- Trianoski R, Iwakiri S, Matos JLM. Potencial use of planted fast growing species for production of particleboard. *Journal of Tropical Forest Science* 2011b; 23(3): 311-317.