

Influência da adição de serragem nas propriedades tecnológicas de painéis de madeira aglomerada de *Pinus taeda*

Influence of sawdust addition in the technological properties of Pinus taeda particleboards

Rebecca Torrell¹
Éverton Hillig^{2(*)}
Giordano Marques Corradi³
Setsuo Iwakiri⁴

Resumo

No presente estudo, foram analisadas as propriedades físico-mecânicas de painéis de madeira aglomerada, de três camadas, produzidos em laboratório, com a adição de dois tipos de serragem obtidas em serrarias, as quais foram classificadas como tipo “fino” e “grosso” por meio de análise granulométrica. Três proporções de serragem (10, 20 e 30%) foram adicionadas às partículas de madeira de *Pinus taeda* para a confecção dos painéis. Foram, também, confeccionados painéis sem resíduo, constituindo um experimento fatorial com sete tratamentos e três repetições. Utilizou-se adesivo de uréia-formaldeído na proporção de 10% e parafina na proporção de 1%. Os painéis foram produzidos com densidade nominal de 0,65 g/cm³ temperatura dos pratos da prensa de 160°C, pressão de prensagem de 40 Kgf/cm², tempo de prensagem de 8 minutos e tempo de fechamento da prensa de 40 segundos. Após a confecção, os painéis foram esquadrejados ficando com dimensões de 40 x 40 x 1,5 cm. Os ensaios de densidade aparente, estabilidade dimensional, flexão estática, tração perpendicular à superfície dos painéis e arrancamento de parafusos foram realizados de acordo com a norma norte-americana ASTM D 1037 – 93. Os resultados foram submetidos à análise estatística entre tratamentos e entre fatores. Verificou-se que os painéis produzidos com adição de até 10%

-
- 1 Engenheira Florestal; Analista Florestal na Eldorado Brasil Celulose e Papel; Endereço: BR 158, km 231, Fazenda Santa Vera, CEP: 79641-300, Três Lagoas, Mato Grosso do Sul, Brasil; E-mail: r_torrell@hotmail.com
 - 2 Dr.; Engenheiro Florestal; Professor do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná, UNICENTRO - *Campus Irati*; Endereço: PR 153, km 7, Riozinho, CEP: 84500-000, Irati, Paraná, Brasil; E-mail: hillig@hotmail.com (*) Autor para correspondência.
 - 3 Engenheiro Florestal; Consultor Técnico Trainee na STCP ENGENHARIA DE PROJETOS LTDA; Endereço: Rua Elzébio da Mota, 450, CEP: 80530-260, Curitiba, Paraná, Brasil; E-mail: giordanomcorradi@gmail.com
 - 4 PhD; Engenheiro Florestal; Professor Titular do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da Universidade Federal do Paraná, UFPR; Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq.; Endereço: Av. Lothário Meissner, 3400; CEP: 80210-170, Curitiba, Paraná, Brasil; E-mail: setsuo@ufpr.br

Recebido para publicação em 13/05/2012 e aceito em 09/10/2012

de serragem apresentaram qualidade semelhante aos produzidos apenas com partículas obtidas de madeira roliça, sendo assim uma alternativa para um melhor aproveitamento da serragem como matéria prima. Para maiores proporções, foi observado que um aumento da proporção de serragem causou diminuição das propriedades mecânicas e efeito negativo na estabilidade dimensional dos painéis.

Palavras-chave: chapas aglomeradas; *Pinus* sp.; serrarias.

Abstract

In this paper we analyzed the quality of three layers particleboard, produced in the laboratory with addition of two types of sawdust collected in the sawmills. The sawdust was classified as type a “thin” and a type a “thick”, using sieve analysis. Three ratios of sawdust (10, 20 and 30%) were added to the particles *Pinus taeda* wood for making the panels. Panels were also made without residue, constituting a factorial design with seven treatments and three replications. It was used for urea-formaldehyde adhesive in a proportion of 10% and paraffin at a ratio of 1%. The panels were produced with nominal density of 0.65 g/cm³, temperature of the press platens to 160 °C, pressing pressure of 40 kg/cm², pressing time of 8 minutes and closing time of the press 40 seconds. After fabrication, the panels were squared up with dimensions of 40 x 40 x 1.5 cm. Tests of apparent density, dimensional stability, bending strength, tensile strength perpendicular to surface and screw withdrawal were performed according to standard American ASTM D 1037 - 93. The results were statistically analyzed between treatments and between factors. It has been found that panels produced with addition 10% sawdust had a similar quality to those produced only by particles obtained round wood, therefore an alternative to a better use of sawdust as raw material. To highest ratios it was observed that increased proportion of sawdust caused a decrease of mechanical properties and adverse effect on the dimensional stability of the panels.

Key words: wood panels, *Pinus* sp.; sawmill.

Introdução

Fagundes (2003), em trabalho realizado sobre o diagnóstico da produção de madeira serrada de florestas plantadas e geração de resíduos em indústrias da madeira, verificou que o resíduo que desperta menor interesse pelo mercado e, assim, constitui um

maior problema para as serrarias é a serragem. O autor concluiu, também, que para o emprego dos resíduos no processo de produção de chapas ou painéis, é necessária uma alteração no atual sistema de produção. Para tal, as serrarias devem incrementar processos de qualificação do resíduo que envolve a sua seleção, classificação, limpeza, armazenagem

e, ao mesmo tempo, deve atender requisitos de volume e regularidade.

Dados levantados no trabalho de Chিপanski (2006) mostram que a constituição média da matéria-prima madeira (base seca) utilizada pelas indústrias para produção de aglomerados no Brasil são 70% toras, 15% cavacos de terceiros, 7% resíduos de processo, 4% maravalhas e 4% serragem. A autora considerou a produção de todas as empresas fabricantes de aglomerado no Brasil. Esses dados mostram que já são utilizados resíduos das indústrias de madeira (serragem e maravalhas) na produção de painéis aglomerados, no entanto, em pequenas proporções.

Maloney (1996) cita a serragem, tanto a proveniente do desdobro (verde) como a proveniente do beneficiamento (seca), entre as principais matérias-primas para fabricação de painéis aglomerados nos Estados Unidos. Moslemi (1974), afirma que o resíduo requer menos manuseio e menos processamento do que a madeira proveniente de toras. Segundo Roque (1998) é possível se utilizar qualquer espécie de madeira, ou mesmo outras fontes de fibras, como o bagaço de cana e casca de arroz para a fabricação de painéis aglomerados desde que se considere a qualidade do produto final, pois esta limita o campo de escolha. Em geral, são utilizadas em pequenas proporções misturadas às partículas de madeira.

Dessa forma, vários estudos sobre a utilização de resíduos em painéis aglomerados vêm sendo realizados. Dacosta et al. (2005) analisaram a qualidade dos painéis de partículas aglomeradas fabricadas com resíduos do processamento mecânico da madeira de *Pinus elliottii* Engelm., constituídos de costaneiras, serragem, casca, destopos e refilos reprocessados e maravalhas não reprocessadas. Os autores concluíram que o processo de

redução do resíduo em moinho de martelo e a presença de casca foram os fatores que contribuíram para diminuição da resistência dos painéis nas propriedades estudadas. Além disso, consideraram que, apesar da maravalha apresentar melhores resultados que a serragem, ainda assim os valores foram menores do que aqueles normalmente observados para painéis similares produzidos de partículas obtidas de madeira roliça.

Pedrazzi et al. (2006) usaram resíduos de uma indústria de celulose em painéis aglomerados. Os resíduos da madeira de *Eucalyptus saligna*, resultantes da picagem das toras para a confecção de cavacos, foram usados nas formas de “palitos” e serragem, sendo que os “palitos” usados tinham dimensão média de 18,7 x 3,15 x 1,04 mm, e a serragem dimensão média de 9,25 x 1,47 x 0,62 mm. Os autores verificaram que os valores médios encontrados para ligação interna, módulo de ruptura (MOR), módulo de elasticidade (MOE) e para arrancamento de parafusos ficaram dentro dos limites determinados pelos padrões de qualidade internacional para alguns tratamentos, com base na norma ANSI A 208.1 (ANSI, 1993).

Com o objetivo de avaliar a viabilidade de utilização da madeira de eucalipto (*Eucalyptus maculata*, *E. grandis* e *E. tereticornis*), na forma de resíduos de processamento em serrarias, Iwakiri et al. (2000) produziram painéis de madeira aglomerada com essas espécies. Verificaram que os painéis produzidos apresentaram propriedades físico-mecânicas satisfatórias, em comparação com algumas espécies referenciadas na literatura como *Pinus elliottii*, *Mimosa scabrella* e *Eucalyptus dunnii*. Com base nas propriedades mecânicas, o *Eucalyptus maculata* e o *Eucalyptus grandis* foram às espécies que apresentaram melhores resultados.

Com relação à estabilidade dimensional é importante que os painéis apresentem pouca absorção d'água e pouco inchamento em espessura. Gonçalves et al. (2008) citam que o Inchamento máximo permitido para painéis classificados na Classe 1 da norma CS 236-66 é de até 30%. Conforme tabela de propriedades físicas e mecânicas editadas pelo Forest Products Laboratory (1987), os painéis comerciais de partículas de madeira têm apresentado para o teste de absorção de água valores entre 5% e 50%, após 24 horas de imersão. A norma DIN 68761 (1)-1961, (3)-1971 (GERMAN STANDARDS COMMITTEE, 1971) estabelece inchamento em espessura máxima de 6 e 15% após 2 e 24 horas, respectivamente. A Norma Européia EN 312-1 (1996) estabelece inchamento máximo de 15%, para 24 horas de imersão, para painéis com espessura acima de 13 mm.

Dessa forma, o objetivo do presente estudo foi analisar as propriedades físico-mecânicas de painéis de madeira aglomerada, confeccionados com matéria-prima virgem, proveniente de toras de *Pinus taeda*, juntamente com resíduos da mesma espécie na forma de serragem provenientes de serrarias, procurando determinar se as propriedades avaliadas sofrem influência do tipo e da proporção de serragem.

Material e Métodos

Materiais

Os resíduos de madeira na forma de serragem foram provenientes de dez serrarias da região Centro-Oeste do Paraná que desdobram *Pinus taeda*. Para a caracterização da serragem, foi coletada uma amostra com cinco quilogramas em cada uma das dez empresas.

Já as partículas de madeira, da espécie *Pinus taeda*, foram provenientes de uma indústria de aglomerados da região de Curitiba, (PR). Foram usadas partículas industriais nas camadas interna e externa do painel aglomerado, provenientes da linha de produção dessa empresa.

Na confecção dos painéis, foi utilizada resina a base de uréia-formaldeído, com viscosidade de 650 cP, teor de sólidos de 65% e pH = 7,8. Também foi usada emulsão de parafina, com 30% de teor de sólidos, para reduzir a higroscopicidade dos painéis.

Caracterização da Serragem

A caracterização da serragem foi realizada levando-se em conta as seguintes variáveis: granulometria, densidade a granel e umidade. O perfil granulométrico foi obtido através do peneiramento vibratório de um quilograma de serragem em peneiras com diferentes malhas. Foram utilizadas peneiras série Tyler de 48, 35, 20, 14, 10, 8 e 4 mesh. A massa retida em cada peneira e no fundo permitiu analisar a granulometria. A partir da caracterização da serragem, foram selecionadas as que mais atendiam as especificações para a utilização em painéis aglomerados. Um tipo de serragem de menor granulometria, composto por maioria de partículas que ficaram retidas nas peneiras de 20 e 35 mesh, foi utilizado nas camadas externa e interna dos painéis, enquanto que um de granulometria maior, composto por maioria de partículas retidas na peneira de 4 mesh, foi utilizado apenas na camada interna.

No teste de umidade as amostras foram pesadas, submetidas à estufa à 103 °C + 2 °C e novamente pesadas em balança analítica de precisão igual 0,01 grama. Para a determinação da densidade aparente a granel,

as amostras foram colocadas em um béquer de um litro de capacidade até total preenchimento e posteriormente pesadas.

Produção dos Painéis

Os painéis, com dimensões de 50 x 50 x 1,5 cm, foram produzidos com partículas de madeira de *Pinus taeda* e serragem, sendo utilizadas partículas maiores na camada interna e partículas menores nas camadas externas. A camada interna foi composta por 60% do peso de partículas e serragem,

Foram produzidos painéis aglomerados convencionais, de três camadas, variando dois tipos de serragem nas camadas internas, com diferentes proporções (10%, 20% e 30% em massa), caracterizando um experimento fatorial inteiramente casualizado de dois fatores. Foram também confeccionados painéis sem serragem, como testemunha. Dessa forma o experimento consistiu em sete tratamentos e três repetições, totalizando a confecção de 21 painéis aglomerados. A tabela 1 apresenta a composição de cada tratamento.

Tabela 1. Composição dos tratamentos para confecção dos painéis

Tratamento	Proporção de partículas (%)	Proporção de serragem (%)	Tipo de serragem capa	Tipo de serragem
miolo	90	10	Fino	Fino
2	90	10	Fino	Grosso
3	80	20	Fino	Fino
4	80	20	Fino	Grosso
5	70	30	Fino	Fino
6	70	30	Fino	Grosso
7	100	0	-	-

enquanto as camadas externas por 40% (20% em cada face). Utilizou-se adesivo de uréia-formaldeído na proporção de 10% e parafina na proporção de 1% sobre o peso seco de “partículas + serragem”. Foi também usado, como catalisador, cloreto de amônia na proporção de 25% sobre o peso de adesivo.

Os parâmetros de produção foram: densidade nominal do painel de 0,65 g/cm², temperatura dos pratos da prensa de 160 °C, pressão de prensagem de 40 Kgf/cm², tempo de prensagem de 8 minutos e tempo de fechamento da prensa de 40 segundos. Após a confecção, os painéis foram esquadrejados ficando com dimensões de 40 x 40 x 1,5 cm.

Ensaio Físico-mecânicos

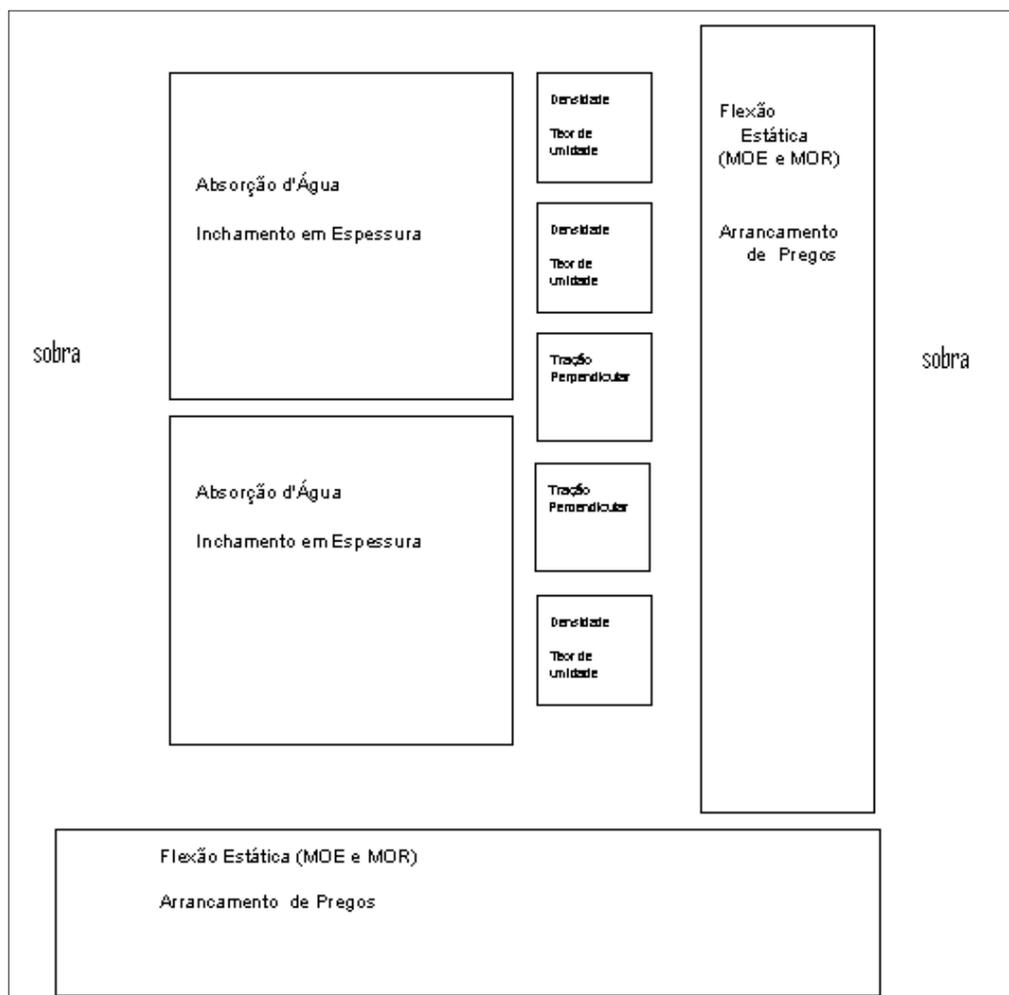
Os testes realizados para avaliação da qualidade dos painéis foram: flexão estática (Módulo de Elasticidade - MOE e Módulo de Ruptura - MOR); arrancamento de parafuso, normal (AP nor) e lateral (APlat) ao plano da chapa, e ligação interna (LI). Foi também determinada a densidade aparente (Da) dos painéis e as propriedades de estabilidade dimensional (absorção d'água e inchamento em espessura). Foram confeccionados dois corpos-de-prova para cada ensaio, exceto o ensaio de densidade aparente em que se obteve três corpos-de-prova de cada painel. A figura

1 apresenta o croqui da posição dos corpos-de-prova no painel.

Os ensaios físico-mecânicos seguiram as recomendações da norma norte-americana D 1037 – 93 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 1995). A determinação da densidade aparente foi realizada por meio de medição e pesagem, utilizando corpos-de-prova quadrados de cinco centímetros de aresta, condicionados a 20 °C e 65% de umidade relativa. Os corpos-de-prova foram medidos em duas posições

em cada dimensão para cálculo do volume e pesados em balança analítica de precisão de 0,01 gramas. A razão entre a massa do corpo-de-prova ao teor de umidade de equilíbrio e seu volume forneceu a densidade aparente.

Os ensaios mecânicos foram realizados em Máquina Universal de Ensaio, hidráulica, marca EMIC, capacidade de 30 toneladas. Os pares de dados de carga e deformação foram alimentados automaticamente, por meio de uma placa de aquisição de dados, ao computador com *software* TESC instalado.



Nota: Corpos-de-prova de absorção d'água e inchamento em espessura não foram usados nesse estudo.

Figura 1. Modelo de corte dos painéis para confecção dos corpos de prova

Para os testes de estabilidade dimensional, corpos de prova de 150 x 150 mm foram submersos em água a temperatura de 20 °C. O material foi disposto horizontalmente e mantido submerso a mesma profundidade (25,0 mm) por meio de pesos em forma de grade. Determinou-se a espessura média, por meio de medições, e o peso, com balança analítica, das peças condicionadas e após 2 e 24 horas de submersão. As medições de espessura, comprimento e largura foram realizadas com paquímetro.

As variáveis obtidas, neste teste, foram: inchamento em espessura 2 horas (IE 2) e 24 horas (IE 24); absorção d'água em peso 2 horas (AP 2) e 24 horas (AP 24); absorção d'água em volume 2 horas (AV 2) e 24 horas (AV 24). Os cálculos destas variáveis podem ser visualizados nas equações 1, 2 e 3.

$$IE (\%) = \frac{\text{Espessura média final} - \text{Espessura média inicial}}{\text{Espessura média inicial}} \times 100 \quad (1)$$

$$AP (\%) = \frac{\text{Peso médio final} - \text{Peso médio inicial}}{\text{Peso média inicial}} \times 100 \quad (2)$$

$$AV (\%) = \frac{\text{Peso médio final} - \text{Peso médio inicial}}{\text{Volume do corpo de prova}} \times 100 \quad (3)$$

onde: (Peso médio final – Peso médio inicial) = volume d'água absorvida, tendo em vista considerar a densidade da água igual a 1 g/cm³.

Análise estatística

A configuração do experimento foi fatorial de dois fatores: tipo de serragem e proporção de serragem, com três repetições. Os resultados encontrados para as variáveis analisadas foram submetidos à análise de variância (ANOVA) entre tratamentos e entre fatores. A ANOVA foi complementada pelo teste de médias (Tukey), quando estabelecidas diferenças significativas entre

as médias. Também, foi realizada análise de regressão linear representada por gráficos com as respectivas linhas de regressão, para os ensaios de arrancamento de parafusos.

Resultados e Discussão

Caracterização da serragem

A tabela 2 apresenta os dados de umidade, Densidade a granel (Dg) e Diâmetro médio superficial (Ds) das duas amostras de serragem usadas para adição nos painéis aglomerados. Utilizou-se a serragem “fina” para adição nas camadas internas e externas dos painéis, enquanto a serragem “grossa” foi usada apenas na camada interna. As amostras de serragem apresentaram teores de umidade diferentes, devido ao fato da madeira desdobrada ter diferente tempo de armazenamento. Em ambos os casos, necessitam de secagem para sua utilização em painéis aglomerados, que deve ser de 3 a 5%. Nessa característica, a amostra de serragem fina apresenta vantagem, pois seu teor de umidade é bem menor o que demandaria menor tempo e custo de secagem. O teor de umidade influenciou também na densidade a granel, pois esta variável foi determinada ao teor de umidade da amostra.

Tabela 2. Características dos tipos de serragem usadas nos painéis

Amostra	Umidade (%)	Dg (g/l)	Ds mm
Serragem “fina”	15,30	26,95	0,312
Serragem “grossa”	119,40	109,60	1,700

Na figura 2, são apresentadas as distribuições de frequência das amostras de

serragem, onde verifica-se que a serragem “fina” apresenta mais de 80% de frequência na classe de D_s igual a 0,295 mm e que a serragem “grossa” aproximadamente 70% de frequência em duas classes de D_s (1,651 mm e 2,362 mm). Desta forma, o diâmetro médio superficial de cada partícula da serragem foi de 0,312 e 1,700 mm, respectivamente. Esse percentual de frequência obtido em uma classe granulométrica, para cada tipo de serragem, demonstra uma homogeneidade de tamanho de partículas, o que se considera uma característica favorável para seu uso em painéis aglomerados.

A serragem “grossa” apresentou distribuição de frequência de diâmetro médio superficial semelhante e um pouco abaixo da serragem de *Pinus elliottii* caracterizada em Hillig et al. (2008) que foram obtidas de uma serraria da região da Serra Gaúcha, a partir do desdobro de toras em serra de fita. Aquela serragem apresentou frequência de diâmetro

na faixa entre 0,210 mm e 2,380 mm, com cerca de 40% em apenas uma classe (0,840 mm a 1,680 mm). A serragem “grossa” obtida nesse estudo também foi gerada em serra de fita. Tem-se verificado que esse tipo de serragem apresenta diâmetro médio superficial no mesmo intervalo que nesse estudo, como as obtidas no trabalho de Dacosta et al. (2005).

Por outro lado, a serragem “fina” apresentou distribuição de frequência de diâmetro médio superficial semelhante à serragem utilizada no estudo de Gazola (2007), onde a serragem de *Pinus taeda* apresentou mais de 70% de frequência retida nas peneiras de malhas de 0,60 e 0,30 mm. Essa serragem foi obtida de resíduos da usinagem de pranchas de madeiras bitoladas para a fabricação dos mais diversos tipos de perfis de molduras de uma indústria de molduras. Tanto essa serragem, como a serragem “fina” deste estudo, são provenientes das operações de corte em serra circular e do lixamento.

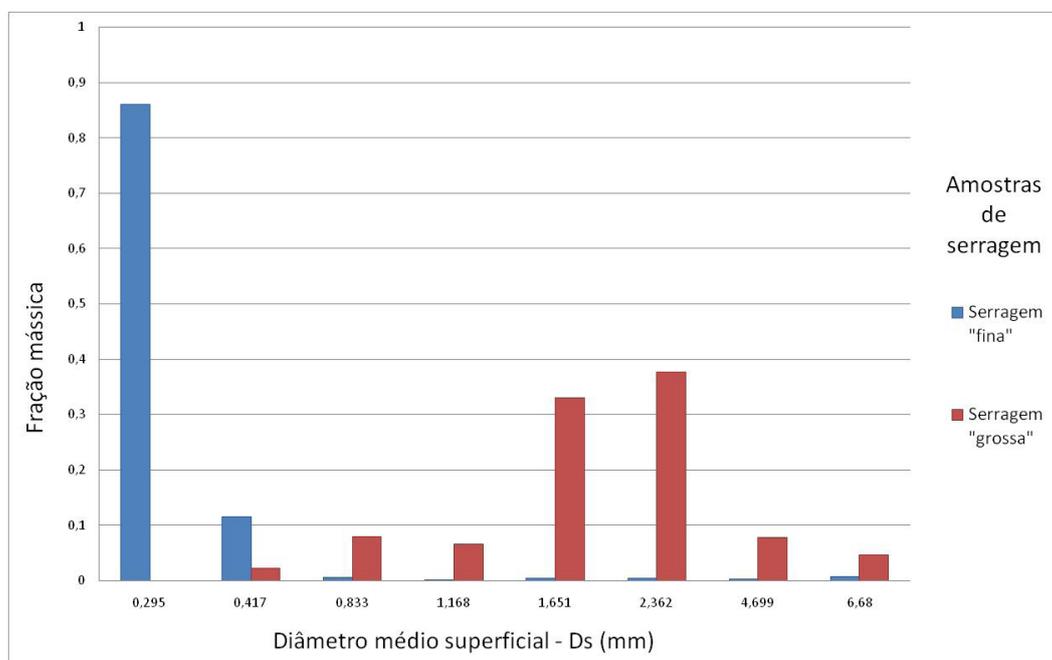


Figura 2. Granulometria dos diferentes tipos de serragem coletadas nas empresas

Propriedades Físicas

A tabela 3 apresenta os valores médios das propriedades de estabilidade dimensional e de densidade aparente, encontrados para os corpos-de-prova dos painéis fabricados com os diferentes tipos e proporções de resíduo. Os painéis foram confeccionados com densidade nominal igual a 0,65 g/cm³, assim, observa-se que a densidade observada apresentou valores médios ligeiramente superiores ao esperado, mas não foram confirmadas diferenças significativas entre a densidade média, ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Isso mostra que, embora com certa variação de densidade aparente entre os corpos-de-prova do mesmo painel, houve homogeneidade entre as médias dos painéis com diferentes tipos e proporções de resíduo. Tendo em vista que a densidade da madeira foi semelhante à densidade do resíduo usado nesse estudo, conclui-se que os painéis com diferentes proporções e tipos de resíduo são homogêneos também na razão de compactação. Considerando uma densidade média

para madeira de *Pinus taeda* igual a 0,402 g/cm³ (QUAQUARELLI et al., 2002) e utilizando a média geral de densidade dos painéis, que foi de 0,715 g/cm³, estimou-se uma razão de compactação igual 1,78.

Foi verificado que os painéis apresentaram diferença estatística significativa entre as médias para as variáveis de absorção d'água em peso (AP24) e em volume (AV24) e para o inchamento em espessura (IE24), todos para 24 horas de imersão em água. Nessas três propriedades, os painéis sem serragem tiveram variação semelhante aos painéis com 30% de serragem.

Os valores foram também comparados aos valores exigidos pela norma DIN 68761 (1)-1961, (3)-1971 (GERMAN STANDARDS COMMITTEE, 1971), que estabelece inchamento em espessura máxima de 6 e 15% após 2 e 24 horas, respectivamente. Dessa forma, verifica-se que todos os painéis apresentaram valores de inchamento em espessura inferiores aos estabelecidos pela norma.

Com relação à absorção d'água, verificou-se que todos os painéis estão

Tabela 3. Valores médios das propriedades de estabilidade dimensional e da densidade dos painéis aglomerados

Trat	Tipo ser	Prop. ser (%)	Dens	IE2	IE24	AV2	AV24	AP2	AP24
1	Fino	10	0,699 a	2,213 a	3,659 a b	2,937 a	7,491 a	4,016 a	10,218 a
2	Grosso	10	0,678 a	1,605 a	3,099 a	2,864 a	7,797 a b	4,140 a	11,247 a
3	Fino	20	0,712 a	2,077 a	3,992 a b	3,274 a	8,270 a b	4,555 a	11,521 a
4	Grosso	20	0,735 a	2,305 a	4,604 b	2,761 a	7,780 a b	3,773 a	10,636 a
5	Fino	30	0,688 a	2,161 a	4,575 b	2,995 a	9,059 b c	4,203 a	12,628 a
6	Grosso	30	0,757 a	2,148 a	4,024 a b	3,212 a	8,637 a b c	4,298 a	11,537 a b
7	-	0	0,732 a	1,338 a	4,236 b	3,081 a	9,966 c	4,426 a	14,238 b
Média Geral			0,715	---	---	---	---	---	---

Nota: Médias seguidas de mesmas letras não diferem pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Dens = Densidade aparente; IE2 = Inchamento em espessura após duas horas de imersão; IE24 = Inchamento em espessura após 24 horas de imersão; AV2 = Absorção d'água em volume após duas horas de imersão; AV24 = Absorção d'água em volume após 24 horas de imersão; AP2 = Absorção d'água em peso após duas horas de imersão; AP24 = Absorção d'água em peso após 24 horas de imersão.

dentro dos padrões estabelecidos para painéis comerciais, sendo que os valores de AP24 são significativamente inferiores aos mínimos exigidos pela norma CS 236-66 (até 30%) e pela tabela de propriedades físicas e mecânicas editadas pelo Forest Products Laboratory (1987), que cita valores entre 5 e 50%.

Os baixos valores de absorção d'água e inchamento em espessura encontrados nesse trabalho em comparação com os referenciais normativos, foi atribuído à geometria das partículas da camada interna e ao processo de produção dos painéis, em três camadas, similar aos painéis comerciais. Também, a razão de compactação dos painéis, estimada em 1,78, pode ser considerada relativamente alta e pode ter contribuído para os baixos valores de absorção d'água.

Para estabelecer qual a influência da proporção e do tipo de resíduo nas propriedades de estabilidade dimensional dos painéis, efetuou-se a análise de variância para esses fatores (Tabela 4). Verificou-se que o tipo de resíduo não influenciou as propriedades de estabilidade dimensional

dos painéis, no entanto, o inchamento em espessura 24 horas e a absorção d'água em volume 24 horas aumentaram com o aumento da proporção de resíduo.

Ensaio mecânicos

A tabela 5 apresenta os valores médios encontrados para as propriedades mecânicas dos painéis.

Uma análise geral da tabela 5 mostra que praticamente todos os valores médios encontrados para as propriedades analisadas ficaram abaixo dos mínimos exigidos pela norma ANSI A 208.1 (ANSI, 1993), para painéis com densidade entre 0,59 e 0,80 g/cm³, que estabelece valores de 112 Kgf/cm², 17.602 Kgf/cm², 4,22 Kgf/cm² e 102 Kgf para MOR, MOE, LI e AP Normal, respectivamente.

Embora os painéis tenham sido fabricados em três camadas, similar ao processo de produção industrial, foi verificado que suas faces podiam perder partículas por fricção. Usou-se 10% de proporção de adesivo tanto

Tabela 4. Valores médios e análise de variância das propriedades de estabilidade dimensional em função do tipo e da proporção de serragem usada nos painéis

Fatores		Médias					
		IE2	IE24	AV2	AV24	AP2	AP24
Fator 1 = Proporção de serragem (%)	10	1,909 a	3,379 a	2,901 a	7,644 a	4,078 a	10,732 a
	20	2,192 a	4,298 b	3,018 a	8,025 a, b	4,164 a	11,078 a
	30	2,154 a	4,299 b	3,103 a	8,848 b	4,250 a	12,082 a
Fcalculado		0,68	10,80*	0,77	5,79*	0,08	2,62
Fator 2 = Tipo de serragem	Fino	2,150 a	4,075 a	3,069 a	8,273 a	4,258 a	11,456 a
	Grosso	2,019 a	3,909 a	2,946 a	8,071 a	4,071 a	11,140 a
Fcalculado		0,37	0,79	0,60	0,47	0,28	0,40

Nota: *Fcalculado significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro. Médias seguidas de mesmas letras não diferem pelo teste de Tukey ou pelo teste F, ao nível de 5% de probabilidade de erro. IE2 = Inchamento em espessura após duas horas de imersão; IE24 = Inchamento em espessura após 24 horas de imersão; AV2 = Absorção d'água em volume após duas horas de imersão; AV24 = Absorção d'água em volume após 24 horas de imersão; AP2 = Absorção d'água em peso após duas horas de imersão; AP24 = Absorção d'água em peso após 24 horas de imersão.

na camada interna, como na camada externa do painel, mas tendo em vista que a camada externa foi produzida com partículas menores e, assim, com maior área superficial, essa proporção de adesivo pode ter sido insuficiente para uma boa adesão. Em geral, na indústria, utiliza-se maior teor de adesivo na camada externa do painel. Outros trabalhos de pesquisa com painéis aglomerados e utilizando resíduos na forma de serragem também não alcançaram os valores mínimos de propriedades mecânicas exigidos pela norma em alguns tratamentos (DACOSTA et al., 2005; PEDRAZZI et al.; 2006; IWAKIRI et al., 2000).

Dacosta et al. (2005), verificaram que usando as partículas do tipo maravalha, misturadas com maiores percentagens de adesivo e maiores densidades, foram obtidos painéis com qualidade satisfatória. Os autores atribuíram ao processo de redução do resíduo de serraria no moinho de martelo, que gerou um material de qualidade inferior em relação ao material obtido de toretes, as menores médias obtidas para as propriedades de resistência dos painéis.

Pedrazzi et al. (2006), concluíram que, de forma geral, não foram observadas mudanças na qualidade dos painéis com relação ao tipo de resíduo utilizado. Os painéis produzidos com densidade de 0,75 g/cm³ e com 12% de adesivo foram mais adequados às normas de comercialização.

Iwakiri et al. (2000), produziram painéis com resíduos na forma de costaneira, de madeira das espécies *Eucalyptus maculata*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus tereticornis*, com 16 anos de idade. Em relação às propriedades mecânicas, concluíram que entre as espécies estudadas, o *Eucalyptus maculata* e o *Eucalyptus grandis* foram as que apresentaram melhor comportamento para produção de painéis de madeira aglomerada. Por outro lado, a espécie *Eucalyptus tereticornis* poderá ser utilizada em mistura com as demais espécies estudadas.

Esses estudos reforçam a ideia de que a utilização de resíduos de madeira em painéis aglomerados, em especial de espécies de reflorestamento de menor idade, causam diminuição das propriedades mecânicas

Tabela 5. Valores médios das propriedades mecânicas dos painéis fabricados com diferentes tipos e proporções de serragem

Trat	Tipo ser	Prop. ser (%)	MOR (Kgf/cm ²)	MOE (Kgf/cm ²)	LI (Kgf/cm ²)	APnor (Kgf)	APlat (kgf)
1	fino	10	118,78 a	18207,0 a	5,26 a	95,70 a	56,25 a
2	grosso	10	109,67 a,b	17224,2 a,b	4,50 a,b	82,91 a	40,80 a
3	fino	20	96,60 a,b	15171,0 a,b	3,67 a,b	88,93 a	42,00 a
4	grosso	20	104,83 a,b	16035,7 a,b	3,28 a,b,c	96,44 a	52,88 a
5	fino	30	85,22 b	14281,0 a,b	1,42 c,d	72,04 a	39,73 a
6	grosso	30	86,27 b	13121,2 b	1,17 d	72,31 a	55,12 a
7	nenhum	0	101,62 a,b	17628,2 a	2,80 b,c,d	85,13 a	40,03 a
Coefficiente de Variação (%)			9,83	8,58	24,76	18,29	13,17

Nota: Médias seguidas de mesmas letras não diferem pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade de erro. Tipo ser = tipo de serragem; Prop ser = proporção de serragem; Dens = Densidade; MOR = Módulo de Ruptura; MOE = Módulo de elasticidade; LI = Ligação interna; APlat = Arrancamento de parafusos lateral à superfície da chapa; APnor = Arrancamento de parafusos normal à superfície da chapa.

dos painéis em comparação com madeira obtidas de toretes. Esse fato se torna mais pronunciado quando da utilização de resíduo na forma de serragem.

Por outro lado, num estudo onde foram utilizados resíduos na forma de costaneiras e de árvores maduras, Iwakiri et al. (2012) concluíram sobre a viabilidade técnica de utilização da madeira de nove espécies provenientes de florestas tropicais da Amazônia na produção de painéis de madeira aglomerada. Os resultados das propriedades físicas e mecânicas dos painéis foram satisfatórios para todas as espécies.

Nesse estudo, os valores médios dos painéis confeccionados sem serragem foram semelhantes aos com 10% de proporção de serragem para MOE e MOE e aos dos painéis com até 20% de proporção de serragem para ligação interna. Isso demonstra que existe a possibilidade do uso de maiores proporções de serragem na produção de painéis aglomerados do que os percentuais citados no trabalho de Chipanski (2006), que é de 4%. Para isso,

no entanto, entende-se que deve haver uma classificação dos resíduos por parte da indústria de processamento mecânico da madeira.

O MOR, o MOE e a ligação interna sofreram influência dos tratamentos usados e o arrancamento de parafusos não. É possível verificar também, pelo teste de médias (Tukey), que houve influência do fator proporção de serragem e não do fator tipo de serragem nas três propriedades em que houve diferenças entre as médias (MOR, MOE e LI). Esse fato pôde ser confirmado por uma análise de variância para fatores, sendo verificado que o valor de "F" para o fator tipo de serragem, e também para interação, foi não significativo para as propriedades estudadas, enquanto que para o fator proporção de serragem foi significativo (Tabela 6).

Numa análise da tabela 6, constata-se que um aumento da proporção de serragem causa uma diminuição dos valores de MOR, de MOE e de Ligação Interna e que não há influência significativa da proporção de serragem no arrancamento de parafuso

Tabela 6. Valores médios e análise de variância das propriedades mecânicas em função do tipo e da proporção de serragem usada nos painéis

Fatores		Médias				
		MOR (Kgf/cm ²)	MOE (Kgf/cm ²)	LI (Kgf/cm ²)	APnor (Kgf)	APlat (kgf)
Fator 1 = Proporção de serragem (%)	10	114,22 a	17715,58 a	4,88 a	89,30 a, b	48,52 a
	20	100,72 a, b	15603,33 a, b	3,47 b	92,68 a	47,44 a
	30	85,74 b, c	13701,08 b, c	1,29 c	72,17 b	47,42 a
Fcalculado		12,09*	11,03*	33,03*	4,95*	0,03
Fator 2 = Tipo de serragem	Fino	100,20 a	15886,33 a	3,45 a	85,55 a	45,99 a
	Grosso	100,26 a	15460,33 a	2,98 a	83,88 a	49,60 a
Fcalculado		0,00	0,37	1,65	0,08	0,64
Interação	Fcalculado	1,13	0,86	0,17	1,08	4,54*

Nota: * Fcalculado significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro. Médias seguidas de mesmas letras não diferem pelo teste de Tukey ou pelo teste F, ao nível de 5% de probabilidade de erro. MOR = Módulo de Ruptura; MOE = Módulo de elasticidade; LI = Ligação interna; APlat = Arrancamento de parafusos lateral à superfície da chapa; APnor = Arrancamento de parafusos normal à superfície da chapa.

lateral, em concordância com a ANOVA da tabela 3. No entanto, na análise fatorial, verificou-se que há diferença entre as médias de arrancamento de parafuso normal à superfície do painel, para as diferentes proporções de serragem.

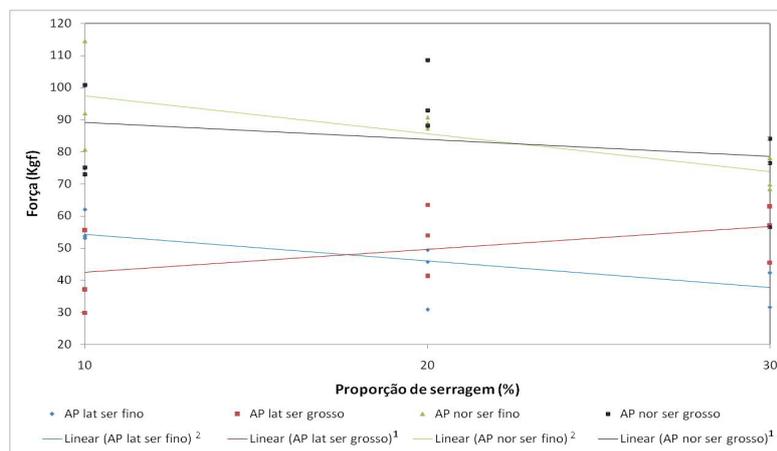
Dacosta et al. (2005), trabalhando com diferentes proporções de resíduos do processamento mecânico da madeira de pinus, encontraram correlação significativa e negativa entre a proporção de resíduo e o MOR, e também o MOE, estando de acordo com o verificado na tabela 6. Essa relação pode ser explicada pelo fato do resíduo apresentar uma geometria de partícula diferente da geometria das partículas industriais. Embora exista pouca diferença em relação ao diâmetro médio superficial, a relação entre comprimento e espessura das partículas de serragem é menor, e o formato é mais arredondado.

Peixoto e Brito (2000) trabalhando com dois tamanhos de partículas de madeira de *Pinus taeda* na produção de painéis

aglomerados, concluíram que partículas de menor granulometria possibilitaram a produção de painéis com melhor ligação interna, enquanto que as partículas de maior granulometria geraram painéis mais resistentes à flexão estática. Nesse trabalho, as partículas de maior granulometria têm maior relação entre comprimento e espessura. O estudo reforça a assertiva de que a geometria da serragem usada nesse estudo contribuiu para diminuição do MOE e do MOR e, todavia, melhorou a ligação interna.

Por outro lado, tendo em vista que o valor de F calculado foi estatisticamente significativo para AP normal e para a interação de AP lateral, se verifica que existe uma influência da proporção de serragem no arrancamento de parafuso normal e de um dos tipos de serragem no arrancamento de parafuso lateral.

Assim, efetuou-se, também, uma análise por regressão linear para essas propriedades. Os resultados são ilustrados na figura 3, onde são apresentados os gráficos



Notas; 1 Linhas de regressão não significativas ao nível de 5% de probabilidade de erro.

2 Linhas de Regressão significativas ao nível de 5% de probabilidade de erro:

AP lateral = $62,509 - 0,826 \times \text{proporção de serragem fino}$; $F = 6,882$; $S_{yx} = 7,712$; $R^2 = 0,496$;

AP normal = $109,217 - 1,183 \times \text{proporção de serragem fino}$; $F = 8,367$; $S_{yx} = 10,019$; $R^2 = 0,544$.

Figura 3. Gráficos dos valores médios da Força ao Arrancamento de Parafusos, lateral e normal, em função da proporção de serragem, com as respectivas linhas de regressão

de AP normal e AP lateral em função da proporção de serragem e separados por tipo de serragem. Verificou-se que, para o tipo de resíduo “fino”, ocorre uma diminuição dessas propriedades com o aumento do teor de serragem, confirmado pela ANOVA significativa da regressão linear, mostrando que a adição deste tipo de serragem nas camadas internas do painel causou uma diminuição dos valores médios da resistência ao arrancamento de parafusos.

Conclusões

A caracterização da serragem mostrou que os dois tipos usados nesse estudo apresentam homogeneidade de distribuição granulométrica, o que é uma característica favorável ao uso em painéis aglomerados.

Todos os painéis fabricados apresentaram valores médios de absorção d'água e inchamento em espessura, inferiores aos máximos admitidos pelas normas internacionais. O tipo de resíduo não influenciou a estabilidade dimensional dos painéis, porém o inchamento em espessura e a absorção d'água em volume, para 24 horas de imersão, aumentaram com o aumento da proporção de serragem.

A análise do resultado dos ensaios mecânicos mostra influência da proporção de ser-

ragem no Módulo de Elasticidade, Módulo de Ruptura e na Ligação Interna, independente do tipo usado, na qual foi verificado que um aumento da proporção de serragem causou diminuição dessas propriedades.

Para o ensaio de arrancamento de parafuso, um aumento da proporção de serragem causou diminuição dos valores médios de resistência, tanto normal como lateral à superfície do painel, apenas para o tipo de serragem “fino”.

De modo geral, verificou-se que o uso de serragem na proporção de até 10% não causou perda de resistência dos painéis em relação àqueles confeccionados sem serragem, o que denota um potencial para o uso de serragem na produção de painéis aglomerados em proporções maiores do que é hoje utilizado pelas indústrias.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Empresa Berneck S/A, na pessoa de Lenoir Antonio da Silveira, pela doação do material utilizado nos painéis. À UFPR, na pessoa do Técnico Ademir Cavali, pelo uso do Laboratório e pelo auxílio na confecção dos painéis. À UNICENTRO, pelos recursos financeiros necessários ao desenvolvimento do trabalho.

Referências

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard test methods for evaluating properties of wood-base fiber and particle panel materials, D 1037-93.** Philadelphia, PA, 1995.

ANSI. American National Standard. **Mat-formed wood particleboard:** specification ANSI A 208.1.1993. Gaithersburg: USDA, 1993. 9p.

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

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

EN 312-1: 1996 - **Particleboards** - Specifications - Part 1: General requirements for all board types. prEN 312-1: 1996

FAGUNDES, H.A.V. **Diagnóstico da produção de madeira serrada e geração de resíduos do processamento de madeira de florestas plantadas no Rio Grande do Sul**. 2003. 180f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

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

GAZOLA, A.P. **Argamassas de assentamento e revestimento fabricadas com compósito de cimento-madeira**: serragem da madeira de *Pinus taeda*. 2007. 106f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, 2007.

GERMAN STANDARDS COMMITTEE: **Deutschen Normenausschuss**. Specifications for particleboard. DIN 68761 (1) – 1961 (3). Holz, 1971.

GONÇALVES, F.G.; LELIS, R.C.C.; OLIVEIRA, J.T.S. Influência da composição da resina tanino-uréia-formaldeído nas propriedades físicas e mecânicas de chapas aglomeradas. **Revista Árvore**, Viçosa, v.32, n.4, p.715-722, 2008.

HILLIG, É.; IWAKIRI, S.; ZENI, M.; ZATTERA, A. J. Caracterização de compósitos produzidos com polietileno de alta densidade (HDPE) e serragem da indústria moveleira. **Revista Árvore**, Viçosa, v.32, n.2, p.299-310 Mar./Apr., 2008.

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

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

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

MOSLEMI, A.A. **Particleboard**: Materials. Illinois: Southern Illinois University Press, 1974. v.1. 244p.

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

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

QUAQUARELLI, M.R.; ARITA, G.S.; BITTENCOURT, E.; KLOCK, U.; MUÑIZ, G.I.B. Características físicas da madeira de *Pinus taeda* L. In: ENCONTRO ANUAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 11., 2002, Maringá. **Resumos...** Maringá: UEM, 2002.

ROQUE, C.A.L. **Painéis de madeira aglomerada**. SET 805.doc. 1998. 22p. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br>>. Acesso em: 13 fev. 2012.