

Painéis aglomerados produzidos com quatro espécies de madeiras tropicais da Amazônia

Particleboard manufactured from four species of tropical timbers of the Amazon region

Rosilani Trianoski¹, Setsuo Iwakiri¹,
Claudete Catanhede do Nascimento² e Narciso Fernando Bila³**Resumo**

Esta pesquisa teve como objetivo avaliar a qualidade de painéis aglomerados produzidos com quatro espécies de madeiras tropicais da Amazônia. As espécies estudadas foram: *Protium puncticulatum* J. F. Macbr, *Protium tenuifolium* (Engl.) Engl., *Inga paraensis* Ducke e *Inga alba* (Sw.) Willd. Foram produzidos painéis experimentais com densidade nominal de 0,75 g.cm⁻³, utilizando a resina uréia-formaldeído na proporção de 8% de sólidos - base peso seco das partículas. Os painéis foram prensados com pressão específica de 4,0 MPa, temperatura de 160 °C e tempo de prensagem de 8 minutos. A qualidade dos painéis foi avaliada por meio de ensaios físicos e mecânicos, com base nos procedimentos descritos na norma EN. Os resultados das propriedades mecânicas obtidos para os painéis experimentais atenderam aos requisitos mínimos estabelecidos pela Norma EN 312:2003 (CEN, 2003) e NBR 14810-2:2006 (ABNT, 2006a), podendo se afirmar que as quatro espécies de madeiras tropicais, objetos deste estudo, apresentam potencial para produção de painéis aglomerados.

Palavras-chave: Painéis aglomerados, madeiras tropicais, uréia-formaldeído.

Abstract

This research aimed to evaluate the quality of the particleboard produced with four species of tropical woods from the Amazon. The species studied were: *Protium puncticulatum* J. F. Macbr, *Protium tenuifolium* (Engl.) Engl., *Inga paraensis* Ducke e *Inga alba* (Sw.) Willd. Experimental panels were produced with nominal density of 0.75 g.cm⁻³, using the urea-formaldehyde resin in a proportion of 8 % solids/dry basis weight of the particles. The panels were pressed with a specific pressure of 4.0 MPa, temperature of 160 °C and pressing time of 8 minutes. The quality of the panels was evaluated by physical and mechanical tests using the procedures described in the EN standard. The results of the mechanical properties obtained for the experimental panels met the minimum requirements established by the EN 312:2003 standard (CEN, 2003) and NBR 14810-2:2006 (ABNT, 2006a) and it can be said that the four species of tropical woods evaluated in this study, have potential for particleboard manufacturing.

Keywords: Particleboard, tropical woods, urea-formaldehyde.

INTRODUÇÃO

Nas últimas duas décadas, as indústrias do setor de painéis reconstituídos de madeira têm empreendido grandes investimentos na implantação de novas unidades produtivas, além do aumento em áreas de plantios florestais para assegurar o suprimento de madeira. De acordo com a ABIPA (2014), a capacidade nominal de produção das indústrias de MDP cresceu de 2,80 milhões de m³ em 2005, para 4,79 milhões de m³ em 2012, com incremento na ordem de 71% no período. Cabe ressaltar que, mesmo

com a entrada de MDF no mercado moveleiro, a produção de painéis MDP continuou crescendo, embora em proporções menores que o MDF. Isto indica que há mercado para os dois tipos de painéis, tanto para diferentes tipos de mobiliário, popular e superior, quanto para o mesmo tipo de mobiliário, em diferentes partes dos móveis. No período de 1997 a 2010, foram realizados 2,5 bilhões de investimentos e a projeção de novos investimentos para período de 2010 a 2014 é de 1,2 bilhões. Isto demonstra a importância e a confiança dos investidores neste importante segmento industrial brasileiro.

¹Professor (a) do Departamento de Engenharia Florestal. UFPR - Universidade Federal do Paraná. Av. Prof. Lothario Meissner, 3400 - Jardim Botânico - 80210-170 - Curitiba, PR. E-mail: rosillani@gmail.com; setsuo@ufpr.br.

²Pesquisadora Doutora. INPA - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Cx. Postal 2223 - CEP 69080-97 - Manaus - AM. E-mail: catanhed@inpa.gov.br.

³Universidade Eduardo Mondlane - Moçambique. E-mail: bila.narciso@gmail.com.

As indústrias de painéis aglomerados no Brasil estão instaladas nas regiões Sul e Sudeste, tendo em vista a localização dos principais pólos moveleiros dos Estados de São Paulo, Minas Gerais, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. As florestas plantadas de *Pinus* e *Eucalyptus* são as bases de suprimento de madeira para estas indústrias. Embora as regiões norte e centro-oeste do país tenham disponíveis extensas áreas de florestas tropicais nativas, poucos estudos têm sido realizados sobre a viabilidade de utilização de madeiras tropicais para produção de painéis aglomerados. O aproveitamento de resíduos provenientes das serrarias e laminadoras pode ser uma alternativa interessante para instalação de indústrias de painéis aglomerados na região amazônica e, por conseguinte, abrir perspectivas de instalação de polos moveleiros na região, diminuindo as dependências de importação de móveis de regiões Sul e Sudeste do país. Neste mesmo aspecto, Alves et al. (2014) corroboram mencionando que a utilização de resíduos de serrarias e indústrias de processamento de madeira, além de agregar valor à matéria-prima promovem a sustentabilidade de forma econômica e ambientalmente correta, a qual vem exigindo atenção em todo o mundo.

As propriedades anatômicas, físicas e químicas das diferentes espécies de madeira podem influenciar de forma positiva e negativa na fabricação de produtos colados de madeira. Segundo Marra (1992), as propriedades da madeira possuem forte influência na formação da ligação adesiva e, geralmente, as madeiras de folhosas apresentam mais dificuldades para colagem do que as de coníferas.

A escolha de espécies de madeira para produção de painéis aglomerados deve ser baseada em alguns parâmetros como a densidade, pH e extrativos (MOSLEMI 1974; MALONEY 1993; TSOUMIS 1991), além da disponibilidade de matéria prima.

A densidade da madeira é um dos requisitos básicos na escolha de espécies para produção de painéis aglomerados, devido a sua influência na razão de compactação, que é a relação entre a densidade do painel e a densidade da madeira. Segundo os autores, a razão de compactação deve ser de no mínimo 1,3 para assegurar uma área de contato satisfatória entre as partículas e densificação suficiente para a formação do painel. Kelly (1977), afirma que, para painéis de mesma densidade, produzidos com madeira de baixa densidade, as suas propriedades mecânicas serão superiores, entretanto, a sua estabili-

dade dimensional será inferior em comparação aos painéis produzidos com madeira de maior densidade. Segundo o autor, nos painéis com maior razão de compactação, há maior quantidade de partículas de madeira e, conseqüentemente, ocorrerá maior densificação do painel, resultando em maior inchamento higroscópico da madeira e liberação das tensões de compressão geradas durante o processo de prensagem à alta temperatura. Maloney (1993) afirma que as espécies com densidade de até $0,55 \text{ g.cm}^{-3}$ são as mais adequadas para produção de painéis de partículas por atingirem uma razão de compactação entre 1,3 e 1,6. Numa pesquisa conduzida por Vital et al. (1974) sobre painéis aglomerados produzidos com *Virola* spp., uma espécie de madeira tropical da Amazônia com massa específica aparente de $0,43 \text{ g.cm}^{-3}$, com razão de compactação dos painéis de 1.2:1.0 (baixa) e 1.6:1.0 (alta), os autores encontraram aumentos significativos nos resultados de tração perpendicular e flexão estática (MOE e MOR).

Com relação ao pH e extrativos da madeira, Marra (1992) afirma que estes parâmetros podem influenciar diretamente na cura da resina e, conseqüentemente, na qualidade dos painéis produzidos. O pH da madeira pode variar entre 3,0 a 5,5 e, de acordo com Kelly (1977), madeiras com pH muito ácido podem causar a pré-cura da resina uréia-formaldeído durante a fase de fechamento da prensa, prejudicando o grau de adesão entre as partículas e, conseqüentemente, reduzir os valores das propriedades mecânicas dos painéis. Por outro lado, madeiras que apresentam pH pouco ácido requerem quantidade um pouco maior de catalisador para acelerar a cura da resina uréia-formaldeído. A influência dos extrativos na polimerização e cura do adesivo é relatada por vários pesquisadores. Marra (1992) afirma que madeiras com elevados teores de extrativos apresentam dificuldades de colagem resultando em baixa resistência da ligação adesiva entre as partículas.

Já a disponibilidade de matéria prima é fundamental para suprir o processo produtivo. Segundo Steege et al. (2006), as famílias mais comuns na região amazônica brasileira são Fabaceae, Sapotaceae, Lecythidaceae, Moraceae, Burseraceae, Chrysobalanaceae, Malvaceae, Euphorbiaceae, Lauraceae e Myristicaceae, onde 25% de todas as árvores de grande porte pertencem a família Fabaceae, e os gêneros mais comuns quanto a abundância são *Eschweilera*, *Pouteria*, *Licania*, *Tetragastris*, *Eperua*, *Inga*, *Protium* e *Swartzia*.

Em relação ao gênero *Inga*, pertencente à família Fabaceae (PINHEIRO et al., 2007), a espécie *Inga alba*, com base no levantamento realizado por Souza e Silva (2003) no baixo Rio Negro na Amazônia, foi indicada com bom potencial econômico e industrial, segundo estudos de Alarcón e Peixoto (2007), foi a quinta espécie com maior ocorrência de indivíduos em um trecho de terra firme do baixo Rio Branco, Roraima e de acordo com Espírito-Santo (2003) uma das vinte de maior ocorrência na Floresta Nacional do Tapajós. Já a espécie *Inga paraensis*, é uma espécie com boa ocorrência em regiões de terra firme da Amazônia, onde após inventário na Amazônia Central, verificou-se que foi a sexta mais frequente (TSUCHIYA et al., 2006). Quanto ao gênero *Protium* da família Burseraceae, a espécie *Protium puncticulatum* foi uma das cinco espécies de maior valor de cobertura na região Sul do Pará (RIBEIRO et al., 1999) e uma das dez nas florestas primária e secundária da Floresta Nacional do Tapajós (ESPÍRITO-SANTO, 2003). Já a espécie *Protium tenuifolium* foi a quarta com maior número de indivíduos em estudo realizado por Aparicio et al., (2014) em floresta de terra firme no Amapá, e uma das dez de maior abundância e frequência relativa segundo estudo realizado por Salomão et al. (2013) na Floresta Ombrófila Densa, sub-região dos baixos platôs da Amazônia, além de ser uma das principais espécies que caracterizam o estrato emergente.

Tendo em vista a carência de estudos sobre o comportamento das espécies de madeiras da Amazônia na produção de painéis aglomerados, este trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade de painéis aglomerados produzidos com quatro espécies de madeiras tropicais da Amazônia, com base nos resultados de suas propriedades físicas e mecânicas.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas nesta pesquisa madeiras das espécies *Protium puncticulatum*, *Protium tenuifolium*, *Inga paraensis* e *Inga alba*, provenientes da Estação Experimental ZF-2 do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, localizada no Município de Manaus, Estado do Amazonas. A madeira de *Pinus taeda* foi utilizada como base referencial para comparações de resultados obtidos para as quatro espécies de madeiras tropicais, tendo em vista ser a espécie mais empregada na produção industrial de painéis aglomerados no Brasil.

Na colagem das partículas de madeira para manufatura dos painéis aglomerados foi utilizada a resina ureia-formaldeído, com teor de sólidos de 66,5%, pH de 7,0, densidade de 1,30 g/cm³ e viscosidade Brookfield de 742 cP. O catalisador empregado na polimerização da resina foi o sulfato de amônia.

Os painéis foram produzidos em laboratório, com espécies puras e em diferentes proporções de misturas, conforme o plano experimental apresentado na tabela 1.

Tabela 1. Delineamento experimental.

Table 1. Experimental design.

Tratamento	Composição
1	100% <i>Protium puncticulatum</i>
2	100% <i>Protium tenuifolium</i>
3	100% <i>Inga paraensis</i>
4	100% <i>Inga alba</i>
5	50% <i>Protium puncticulatum</i> – 50% <i>Protium tenuifolium</i>
6	50% <i>Inga paraensis</i> - 50% <i>Inga alba</i>
7	25% <i>P. puncticulatum</i> - 25% <i>P. tenuifolium</i> - 25% <i>I. paraensis</i> - 25% <i>I. alba</i>
8	100% <i>Pinus taeda</i>

As partículas de madeira foram geradas num picador de disco com as seguintes dimensões nominais: comprimento de 25 mm, espessura de 0,7 mm e largura variável. Após a secagem ao teor de umidade médio de 3%, as partículas foram reprocessadas no moinho de martelo e classificadas em peneira de malha 0,6 para retirada de “finos”.

A resina ureia-formaldeído catalisada com sulfato de amônia foi aplicada sobre as partículas em quantidade de 8% de sólidos em relação ao peso seco das partículas. Foi aplicada também 1% de emulsão de parafina com objetivo de reduzir a absorção de água e minimizar o inchamento em espessura. Para a formação do colchão de partículas foi utilizada uma caixa formadora vazada com dimensões laterais de 50 cm x 38 cm. Os cálculos para definição de quantidade de materiais para formação de um painel foram feitos para densidade nominal de 0,75 g.cm⁻³ e dimensões de 50 cm x 38 cm x 1,3 cm. Os painéis foram prensados à temperatura de 160 °C, pressão específica de 4,0 MPa e tempo de prensagem de 8 minutos. Foram produzidos três painéis por tratamento, perfazendo um total de 24 painéis experimentais.

Após a prensagem, os painéis foram esquadrejados e acondicionados em câmara climática com temperatura de 20 ± 2 °C e umidade relativa de 65 ± 5%, até sua estabilização ao teor de umidade médio próximo à 12%.

As propriedades físicas e mecânicas dos painéis foram determinadas de acordo com a metodologia proposta pelas Normas Européias EN 310, 317, 319 e 323 (CEN, 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 em água, flexão estática, tração perpendicular e arrancamento de parafusos (superfície e topo). Os valores obtidos foram comparados com os requisitos propostos pela norma EN 312:2003 (CEN, 2003) e pela norma NBR 14810-2:2006 (ABNT 2006a), e com os valores obtidos a partir do tratamento referência (T8 – *Pinus taeda*). Os dados obtidos foram submetidos à análise estatística por meio dos testes de Grubb's e Shapiro Wilks, para verificação de outliers e distribuição normal. A homocedasticidade foi avaliada por meio do Teste de Bartlett e em seguida foram realizadas ANOVA, Análise de Covariância e Teste de médias de Tukey ao nível de probabilidade de 95%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Massa específica e razão de compactação

Na Tabela 2 estão apresentados os resultados médios da massa específica básica das madeiras, massa específica aparente dos painéis e da razão de compactação.

Tabela 2. Resultados de massa específica e razão de compactação.

Table 2. Results of density and compaction ratio.

Tratamento	ME madeira (g/cm ³)	ME painéis (g/cm ³)	RC
1	0,640	0,750 a (5,52)	1,209 cd (4,29)
2	0,690	0,743 a (5,61)	1,104 e (4,19)
3	0,630	0,746 a (5,82)	1,211 cd (5,62)
4	0,570	0,739 a (5,88)	1,349 b (4,55)
5	0,665	0,750 a (6,66)	1,173 de (5,52)
6	0,600	0,742 a (5,80)	1,273 c (5,99)
7	0,633	0,746 a (7,09)	1,206 cd (7,40)
8	0,450	0,708 b (5,41)	1,586 a (5,77)

ME: massa específica; RC: razão de compactação; Médias seguidas da mesma letra na mesma coluna são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade. Valores entre parêntese indicam o coeficiente de variação.

Os valores médios da massa específica básica das espécies utilizadas nesta pesquisa foram de 0,640 g/cm³ para *Protium puncticulatum*, 0,690 para *Protium tenuifolium*, 0,630 g/cm³ para *Inga paraensis*, 0,570 g/cm³ para *Inga alba* e 0,450 g/cm³ para *Pinus taeda*. Todas as quatro espécies de madeiras tropicais apresentaram valores de massa específica básica superiores à madeira de *Pinus taeda*. As misturas das madeiras das quatro espécies em diferentes proporções resultaram em massa específica básica no intervalo de 0,600 g/cm³ a 0,665 g/cm³.

Com relação à massa específica aparente dos painéis, os valores médios variaram de 0,708 g/cm³ a 0,750 g/cm³. Para alguns tratamentos os valores foram um pouco inferiores à massa específica nominal de 0,750 g/cm³, o que pode ser atribuído à perda de material durante a formação do painel e retorno em espessura após prensagem. Foram constatadas diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos produzidos com madeiras tropicais e o tratamento testemunha (*Pinus taeda*).

Os valores médios de razão de compactação variaram de 1,104 a 1,586, sendo o menor valor obtido para painéis produzidos com 100% de madeira de *Protium tenuifolium* e o maior valor obtido para painéis produzidos com madeira de *Pinus taeda*. Apenas as espécies *Inga alba* e *Pinus taeda* apresentaram valores de razão de compactação na faixa de valores considerada ideal de 1,3 a 1,6 conforme relatada por Kelly (1977), Maloney (1993) e Moslemi (1974). Todas as demais espécies e misturas destas, apresentaram razão de compactação média abaixo da faixa de valores mencionada por referidos autores.

Propriedades físicas dos painéis

Na Tabela 3 estão apresentados os resultados médios de absorção de água e inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão em água.

Os valores médios de absorção de água após 2 horas variaram de 5,91% a 49,40% e, após 24 horas, de 20,65% a 89,19%. Os painéis de *Pinus taeda* apresentaram valores médios de absorção estatisticamente superiores em relação às demais espécies, tanto para 2, quanto para 24 horas de imersão. Os painéis produzidos com madeiras de *Protium puncticulatum*, *Protium tenuifolium*, *Inga paraensis*, mistura de espécies de *Protium* e das quatro espécies tropicais, apresentaram valores médios de absorção de água após 2 horas estatisticamente inferiores em relação aos demais tratamentos. Para absorção de água

Tabela 3. Resultados de propriedades físicas dos painéis aglomerados.**Table 3.** Results of physical properties of particleboard.

Tratamento	AA 2h (%)	AA 24h (%)	IE 2h (%)	IE 24h (%)
1	8,93 c (31,69)	26,84 c (9,80)	21,16 bc (26,84)	51,82 b (8,43)
2	6,99 c (29,94)	23,53 cd (12,63)	19,37 bcd (28,32)	45,20 c (13,65)
3	19,71 b (12,09)	30,49 bc (11,36)	43,27 a (10,62)	59,45 ab (6,24)
4	7,95 c (21,80)	26,46 c (8,09)	21,26 bc (22,67)	59,64 ab (7,82)
5	5,91 c (16,80)	20,65 d (13,17)	15,86 cd (26,11)	41,96 c (16,93)
6	16,48 b (24,39)	32,98 b (13,77)	37,25 a (22,17)	62,25 a (6,63)
7	7,85 c (23,84)	24,95 c (14,91)	24,78 b (34,05)	51,63 b (6,69)
8	49,40 a (17,28)	89,19 a (6,07)	14,29 d (26,36)	33,46 d (12,15)

AA: absorção de água; IE: inchamento em espessura; Médias seguidas da mesma letra na mesma coluna são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade. Valores entre parêntese indicam o coeficiente de variação.

24 horas, os painéis produzidos com as quatro espécies e mistura destas, foram os que apresentaram menores valores médios, sendo estatisticamente iguais entre si.

A menor massa específica da madeira de *Pinus taeda* e o consequente aumento na razão de compactação dos painéis não contribuiu para a redução na absorção de água, devido à redução na porosidade do painel, conforme relatado por Vital et al. (1974). Como base referencial, Naumann et al. (2008) encontraram para painéis aglomerados de *Eucalyptus urophylla* e *Schizobium amazonicum*, valores médios de absorção 24 horas de 97,2% e 117,9%, respectivamente. Iwakiri et al. (1996) obtiveram para painéis aglomerados de *Pinus taeda* e *Eucalyptus dunnii*, valores médios de absorção de água 24 horas de 75,04% e 80,05%, respectivamente e Alves et al. (2014) avaliando a utilização de resíduos de serrarias de diferentes espécies tropicais para produção de aglomerados, obtiveram valores médios de absorção de 50,35% e 56,36% após 2 e 24 horas de imersão, quando utilizaram uréia-formaldeído como adesivo.

Para o inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão, os valores médios variaram na faixa de 14,29% a 43,27% e de 33,46% a 62,25%, respectivamente. Os resultados obtidos foram maiores em relação a alguns valores apresentados na literatura. Iwakiri et al. (1996) encontraram para painéis aglomerados de *Pinus taeda* e *Eucalyptus dunnii*, valores médios de inchamento em espessura 24 horas de 30,50% e 35,09%, respectivamente. Trianoski (2010) obteve para painéis aglomerados produzidos com

madeira de *Acrocarpus fraxinifolius*, *Melia azedarach* e *Toona ciliata*, valores médios de 24,58%, 17,79% e 16,78%, respectivamente, e Alves et al. (2014) encontraram percentuais médios de inchamento de 23,65% e 28,33% após 2 e 24 horas.

Moslemi (1974) afirma que painéis com maior razão de compactação apresentam maior inchamento em espessura devido à maior liberação das tensões de compressão resultantes da prensagem, além do inchamento higroscópico da maior quantidade de partículas de madeira. Entretanto, neste estudo, os painéis produzidos com as quatro espécies de madeiras tropicais e mistura destas, apresentaram maior inchamento em espessura em comparação aos painéis de *Pinus* com razão de compactação superior.

Propriedades mecânicas dos painéis

Na Tabela 4 estão apresentados os valores médios de módulo de ruptura e elasticidade em flexão estática, tração perpendicular à superfície e resistência ao arranchamento de parafusos na superfície e topo dos painéis.

Os valores médios de módulo de ruptura (MOR) variaram na faixa de 13,51 MPa a 18,70 MPa. Os painéis produzidos com madeiras de *Inga alba* e *Pinus taeda* apresentaram valores médios de MOR estatisticamente iguais aos painéis produzidos com mistura de quatro espécies tropicais e superiores aos demais tratamentos.

Para o módulo de elasticidade (MOE), os valores médios obtidos variaram na faixa de 2.302 MPa a 2.942 MPa. Os painéis produzidos com madeira de *Inga alba* e mistura de

Tabela 4. Resultados de propriedades mecânicas dos painéis aglomerados.
Table 4. Results of mechanical properties of particleboard.

Tratamento	MOR (MPa)	MOE (MPa)	TP (MPa)	RAP-S (N)	RAP-T (N)
1	15,67bc (5,43)	2.467 b (12,13)	0,71 a (13,73)	1.334 a (18,11)	1.471 ab (17,67)
2	13,51 c (4,80)	2.461 b (15,25)	0,54 b (14,00)	1.137 b (21,68)	1.170 c (22,85)
3	15,31 bc (5,23)	2.302 (15,90)	0,56b (14,60)	1.248 ab (18,08)	1.371 ab (13,09)
4	18,70 a (4,22)	2.942 a (11,74)	0,78 a (12,76)	1.281 ab (14,06)	1.510 ab (15,45)
5	15,36 bc (4,93)	2.487 b (13,25)	0,68 a (8,51)	1.244 ab (22,45)	1.379 ab (17,23)
6	15,91 b (4,13)	2.587 ab (13,77)	0,58 b (17,03)	1.217 ab (18,13)	1.397 b (16,73)
7	17,19 ab (5,07)	2.731 a (15,11)	0,68 a (14,03)	1.276 ab (21,88)	1.411 ab (20,31)
8	18,23 a (4,73)	2.351 (9,95)	0,67 a (14,85)	1.353 a (11,74)	1.534 a (11,95)

MOR: módulo de ruptura; MOE: módulo de elasticidade; TP: tração perpendicular à superfície; RAP-S: resistência ao arranque de parafusos na superfície; RAP-T: idem, topo; Médias seguidas da mesma letra na mesma coluna são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade. Valores entre parêntese indicam o coeficiente de variação.

quatro espécies tropicais, apresentaram valores médios estatisticamente iguais aos painéis produzidos com mistura das espécies *Inga alba* e *Inga paraensis*, e superiores em relação aos demais tratamentos.

Tanto para o MOR, quanto para o MOE, não foram constatadas a influência direta da razão de compactação dos painéis sobre estas propriedades mecânicas. Todos os tratamentos propostos no plano experimental apresentaram valores médios de MOR e MOE superiores aos requisitos mínimos estabelecidos pela Norma EN 312:2003 (CEN, 2003), cujos valores são respectivamente de 13 MPa e 1.600 MPa.

Em relação às outras pesquisas, os resultados obtidos neste trabalho são superiores aos apresentados por Naumann et al. (2008) para painéis aglomerados produzidos com *Eucalyptus urophylla* e *Schizolobium amazonicum* cujos valores foram respectivamente de 4,26 MPa e 13,96 MPa para o MOR e de 696 MPa e 1.873 MPa para o MOE. Já, Trianoski (2010), encontrou para painéis aglomerados produzidos com madeiras de *Acrocarpus fraxinifolius*, *Melia azedarach* e *Toona ciliata*, MOR médio de 18,19 MPa, 18,56 MPa e 19,83 MPa, e MOE médio de 2.134 MPa, 2.191 MPa e 2.427 MPa, respectivamente para as três espécies avaliadas.

Com relação aos ensaios de tração perpendicular, os valores médios obtidos variaram de 0,54 MPa a 0,78 MPa. Os painéis produzidos com madeiras de *Inga paraensis*, *Protium puncticulatum*, mistura desta com *Protium tenuifolium*, mistura de quatro espécies tropicais e *Pinus taeda*, apresentaram valores médios de tração

perpendicular estatisticamente iguais entre si e superiores em relação aos demais tratamentos. Mais uma vez, a razão de compactação dos painéis não influenciou nos resultados desta propriedade mecânica. Os resultados obtidos para todos os tratamentos propostos foram superiores ao requisito mínimo de 0,35 MPa estabelecido pela Norma EN 312:2003 (CEN, 2003).

Como base referencial, Trianoski (2010) encontrou para painéis aglomerados produzidos com madeira de *Acrocarpus fraxinifolius*, *Melia azedarach* e *Toona ciliata*, valores de tração perpendicular respectivamente de 1,50 MPa, 1,88 MPa e 1,64 MPa. Colli et al. (2010), encontraram para painéis aglomerados produzidos com *Schizolobium amazonicum* valor médio de tração perpendicular de 0,22 MPa. Já, Vital et al. (1974) encontraram para painéis aglomerados de *Virola* spp com razão de compactação de 1,2:1.0 (baixa) e 1,6:1.0 (alta), valores de tração perpendicular de 0,48 MPa e 0,65 MPa.

Os ensaios de resistência ao arrancamento de parafusos resultaram em valores médios na faixa de 1.137 N a 1.353 N e de 1.170 N a 1.534 N, respectivamente para a superfície e topo dos painéis. Os painéis de *Pinus taeda* apresentaram valores médios de resistência ao arrancamento de parafusos na superfície estatisticamente superior em relação aos painéis de *Protium tenuifolium* e não diferiu estatisticamente dos demais tratamentos. Todos os tratamentos atingiram os requisitos mínimos estabelecidos pela Norma NBR 14810-2:2006 (ABNT, 2006a) de 1.020 N para resistência ao arrancamento de parafusos na superfície e de 800 N para o topo.

Os resultados obtidos neste trabalho estão próximos aos encontrados por Bianche (2009), entre 1.027 N a 1.376 N (topo e superfície), para painéis produzidos com madeiras de *Eucalyptus urophylla*, *Schizolobium amazonicum* e *Sida spp.* Trianoski (2010) obteve para painéis produzidos com madeiras de *Acrocarpus fraxinifolius*, *Grevilea robusta*, *Melia azedarach*, *Schizolobium parahyba* e *Toona ciliata*, valores de resistência ao arranque de parafusos no topo e superfície entre 735 N a 1.005 N.

CONCLUSÕES

Todas as quatro espécies de madeiras tropicais, objetos deste estudo, apresentaram maiores valores médios de massa específica básica em relação à madeira de *Pinus taeda*, gerando painéis com menor razão de compactação.

Os valores das razões de compactação das espécies amazônicas, abaixo do recomendado na literatura, indicam que esta propriedade não é um fator impeditivo na utilização das mesmas para a produção de painéis aglomerados.

Embora os resultados de propriedades físicas dos painéis tenham sido um pouco elevados em relação aos apresentados na literatura, todos os valores médios das propriedades mecânicas avaliadas para as espécies em estudo atenderam aos requisitos mínimos estabelecidos pela Norma EN 312:2003 (CEN, 2003) e NBR 14810-2:2006 (ABNT, 2006a). Portanto, pode-se afirmar que as quatro espécies de madeiras tropicais avaliadas neste trabalho apresentam potencial para produção de painéis aglomerados.

Apesar das espécies utilizadas no presente estudo apresentarem certa ocorrência na região Amazônica, deve-se considerar a necessidade de grandes volumes de madeira para suprir um processo industrial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIPA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA. **Números**. Disponível em: <<http://www.abipa.org.br/numeros.php>>. Acesso em: 15 abr. 2014.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810-2**: Chapas de madeira aglomerada – Parte 2 – Requisitos. Rio de Janeiro, 2006a.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810-3**: Chapas de madeira aglomerada – Parte 3 – Métodos de Ensaio. Rio de Janeiro, 2006b.
- ALARCÓN, J. G. S.; PEIXOTO, A. L. Florística e fitossociologia de um trecho de um hectare de floresta de terra firme, em Caracaraí, Roraima, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais**, Belém, v. 2, n. 2, p. 33-60, 2007.
- ALVES, L. S.; SILVA, S. A. M.; AZAMBUJA, M. S.; VARANDA, L. D.; CHRISTÓFORO, A. F.; LAHR, F. A. R. Particleboard produced with sawmill waste of different wood species. **Advanced Materials Research**, Switzerland, v. 884-885, p. 689-693, 2014.
- APARICIO, P. S.; SOTTA, E. D.; GUEDES, M. C.; APARÍCIO, W. C. S.; OLIVEIRA, L. P.; SOUZA, R. N. Níveis de regeneração natural em floresta de terra firme no Amapá, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 38, n. 4, p. 699-710. 2014.
- BIANCHE, J. J. **Propriedades de aglomerados fabricados com partículas de Eucalipto (*Eucalyptus urophylla*), Paricá (*Schizolobium amazonicum*) e Vassoura (*Sida spp.*)**. 2009. 81 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.
- CEN - EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 310**: Wood based panels. Determination of modulus of elasticity in bending and bending strength. Bruxelas, 2002a.
- CEN - EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 312**: Particleboards – Specifications. Bruxelas, 2003.
- CEN - EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 317**: Determination of swelling in thickness after immersion in water. Bruxelas, 2002b.
- CEN - EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 319**: Determination of internal bond. Bruxelas, 2002c.
- CEN - EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 323**: Determination of board density. Bruxelas, 2002d.

- COLLI, A.; VITAL, B. R.; CARNEIRO, A. C. O.; SILVA, J. C.; CARVALHO, A. N. M. L.; DELLA LUCIA, R. M. Propriedades de painéis produzidos com partículas de Madeira de Paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) e fibras de coco (*Cocos nucifera* L.). *Revista Árvore*, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 333-338, 2010.
- ESPÍRITO-SANTO, F. D. B. **Caracterização e mapeamento da vegetação da região da Floresta Nacional do Tapajós através de dados óticos, radar e de inventários florestais**. 2003. 277 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2003.
- IWAKIRI, S.; LATORRACA, J. V. F.; SILVA, D. A.; GABARDO, J. L.; KLITZKE, R. J.; FOFANO, A.; FABROWSKI, F.; INTERANMENSE, M. T. Produção de chapas de Madeira aglomerada de *Pinus elliottii* (Engelm) and *Eucalyptus dunnii* (Maid). *Revista do Setor de Ciências Agrárias*, Curitiba, v. 15, n. 1, p. 33-41, 1996.
- KELLY, M. W. **Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboard**. Madison: Forest Service, 1977, 66 p. (USDA FPL General Technical Report, 10).
- MALONEY, T. M. **Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing**. San Francisco: Miller Freeman, 1993. 689 p.
- MARRA, F. S. **Tecnology of wood bonding – Principles in practice**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 453 p.
- MOSLEMI, A. A. **Particleboard**. London: Southern Illinois University Press, 1974. 245 p.
- NAUMANN, R. B.; VITAL, B. R.; CARNEIRO, A. C. O.; DELLA LUCIA, R. M.; SILVA, J. C.; CARVALHO, A. M. L.; COLLI, A. Propriedades de chapas fabricadas com partículas de Madeira de *Eucalyptus urophylla* S.T.Blake e de *Schizolobium amazonicum* Herb. *Revista Árvore*, v. 32, n. 6, p. 1143-1150, 2008.
- PINHEIRO, K. A. O.; CARVALHO, J. O., P.; QUANZ, B.; FRANCEZ, L. M. B.; SCHWARTZ, G. Fitossociologia de uma área de preservação permanente no leste da Amazônia: indicação de espécies para recuperação de áreas alteradas. *Floresta*, Curitiba, v. 37, n. 2, p. 175-187, 2007.
- RIBEIRO, R. J.; HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; AZEVEDO, C. P. Estudo fitossociológico nas regiões de Carajás e Marabá - Pará, Brasil. *Acta Amazonica*, Manaus, v. 29, n. 2, p. 207-222, 1999.
- SALOMÃO, R. P.; SANTANA, A. C.; BRIENZA JR, S. seleção de espécies da floresta ombrófila densa e indicação da densidade de plantio na restauração florestal de áreas degradadas na Amazônia. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 23, n. 1, p. 139-151, 2013.
- SOUZA, L. A. G.; SILVA, M. F. Bioeconomical potential of Leguminosae from the lower Negro river, Amazon, Brazil. *Lyonia*, Manoa, v. 5. n. 1, p. 15-24. 2003.
- STEEGE, H.; PITMAN, C. A.; PHILLIPS, O. L.; CHAVE, J.; SABATIER, D.; DUQUE, A.; MOLINO, J.; PRÉVOST, M.; SPICHIGER, R.; CASTELLANOS, H.; HILDEBRAND, P.; VÁSQUEZ, R. Continental-scale patterns of canopy tree composition and function across Amazonia. *Nature*, Hampshire, v. 443, n. 7110, p. 444-447. 2006.
- TRIANOSKI, R. **Avaliação do potencial de espécies florestais alternativas de rápido crescimento para produção de painéis de madeira aglomerada**. 2010. 260 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.
- TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure, properties and utilization**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991. 494 p.
- TSUCHIYA, A.; TANAKA, A.; HIGUCHI, N.; LISBOA, P. B. Growth of trees and microclimates in gap dependent forest in Central Amazonia. *Bolletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais*. Belém, v. 1, n. 2, p. 47-63, 2006.
- VITAL, B. R.; LEHMANN, W. F.; BOONE, R. S. How species and board densities affect properties of exotic hardwood particleboards. *Forest Products Journal*, Madison, v. 24, n. 12, p. 37-45, 1974.

Recebido em 08/05/2014

Aceito para publicação em 12/02/2015