

UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA FABRICAÇÃO DE CHAPAS DE PARTÍCULAS

Davana Silva Gonçalves¹
Luciana Soto Herek Rezende²
Cynthia Algayer da Silva³
Rosângela Bergamasco⁴

Resumo: Resíduo é algo que faz parte de um processo produtivo ou não, e que eventualmente não está sendo aproveitado, mas apresenta ainda uma utilização. Um resíduo industrial classificado como classe II - não inerte, foi incorporado em diferentes porcentagens na confecção de chapas de partículas, como substituição da madeira em diferentes granulometrias. As chapas foram submetidas às análises de umidade, densidade, inchamento e absorção de água segundo a ABNT-NBR 14.810-3 (2006) e os resultados foram comparados com os permitidos pela norma ABNT-NBR 14.810-2 (2006). Os resultados apontaram que a adição de resíduo pode ser viável na confecção das chapas, principalmente utilizando material com granulometria maior que 0,071 cm.

Palavras-chave: Chapa de partículas, madeira, propriedades físico-mecânicas, resíduo sólido.

Abstract: Waste is something that is part of a production process or not, and possibly not being utilized, but still has a use. An industrial waste classified as Class II - non inert, was incorporated in different percentages in the manufacture of particle boards, such as replacing wood in various sizes. The plates were analyzed for moisture, density, swelling and water absorption according to ABNT NBR 14.810-3 (2006) and results were compared with those allowed by the ABNT-NBR 14.810-2 (2006). The results showed that the addition of residue can be viable in the manufacture of plates, mostly using materials with a particle size greater than 0.071 cm.

Key-words: Wood particles, plates of particles, physical and mechanical properties, solid waste.

1 Programa de Pós Graduação em Química da Universidade Estadual de Maringá - UEM

2 Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Maringá – UEM.

3 Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá – UEM

4 E-mail: lucianarezende17@gmail.com

INTRODUÇÃO

De acordo com a ABNT-NBR 10.004 (2004), resíduos sólidos são resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. De acordo com Leão (1997) apud Chamma (2004), resíduo é algo que faz parte de um processo produtivo ou não, e que eventualmente não está sendo aproveitado, mas que apresenta ainda uma utilização. Segundo Figueiredo (1994) apud Olandoski (2001), é sinônimo da agregação aleatória de elementos bem definidos que, quando agrupados, se transformam em uma massa sem valor comercial e com um potencial de agressão ambiental variável segundo a sua composição.

Os resíduos são classificados de acordo com a ABNT-NBR 10.004 (2004) em classe I - Perigosos apresentando periculosidade, inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e/ou patogenicidade, ou classe II - Não perigosos, podendo ser classe II A - não inertes aqueles que apresentam características de combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água, com possibilidade de acarretar riscos à saúde ou ao meio ambiente, não se enquadrando nas classificações de resíduos classe I ou classe II B, ou podendo ser classe II B - inertes que são quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

Atualmente com o aquecimento global comprovado tem ocorrido um crescente interesse na prevenção ambiental e desenvolvimento sustentável. Assim sendo, atenção especial tem sido dada para o destino dos resíduos sólidos provenientes de atividades industriais e urbanas. Isto decorre do fato de que a reciclagem ou reutilização de resíduos se constitui numa importante metodologia para utilização de resíduos como matérias-primas alternativas nos diversos setores industriais, além de preservar o meio ambiente, (Manhães e Holanda, 2008).

Segundo Lucas e Benatti (2008), os resíduos gerados pelas atividades industriais crescem em importância no cenário ambiental, uma vez que são produzidos milhões de toneladas por dia em diversos tipos de indústrias. A disposição adequada de resíduos passou a ser primordial para a preservação ambiental, surgindo a necessidade de se desenvolverem mecanismos para promover a conscientização e

a busca de soluções para a implantação de tecnologias capazes de minimizar os impactos decorrentes da disposição destes resíduos no meio ambiente e reduzir os custos envolvidos nessa atividade. O reuso e a reciclagem de resíduos tem um potencial de crescimento muito grande, principalmente nos países em desenvolvimento. A reciclagem é uma necessidade para a preservação do ambiente, não apenas pelo risco de contaminação ambiental representado pelos resíduos, mas também pela possibilidade de reduzir o consumo de energia e recursos naturais não-renováveis, viabilizando o desenvolvimento sustentável.

Segundo Dacosta (2004), de modo geral, a finalidade da reciclagem é procurar soluções produtivas aos resíduos.

De acordo com John *et al* (2003), a aplicação do resíduo deve ser feita em função de suas características. Como regra geral, tais aplicações são aquelas que melhor aproveitam as suas características físico-químicas com menor impacto ambiental dentro de mercado específico, no qual o produto reciclado tem boas condições de competição com o produto convencional. Segundo John (2000), a aplicação do resíduo não deve ser feita em torno de idéias pré-concebidas. O autor afirma ainda que mesmo no caso de resíduos que disponham de tecnologias de reciclagem bem estabelecida, é possível e desejável buscar outras opções.

Ângulo *et al* (2001), afirmam que grande parte da reciclagem de resíduos gerados pelas indústrias é na produção de materiais de construção civil, conduzida pela indústria cimenteira. Wender e Baldo (1998) apud Menezes *et al* (2002), coloca que a indústria cerâmica é uma das que mais se destacam na reciclagem de resíduos sólidos industriais e urbanos, em virtude de possuir elevado volume de produção que possibilita o consumo de grandes quantidades de rejeitos, aliado às características físico-químicas das matérias primas cerâmicas e às particularidades do processamento cerâmico. Segundo Menezes *et al* (2002), os resíduos de mineração, da indústria do papel e celulose, metalúrgica, energética e praticamente todos os tipos de resíduos urbanos podem ser utilizados para esse fim após tratamento adequado. De acordo com Chamma (2004), pode-se aplicar resíduo de diferentes origens em painéis alternativos, promovendo uma adequada disposição final, gerando materiais que preservem os recursos naturais.

De acordo com ABIMCI (2003), nos últimos anos os painéis de madeira têm enfrentado grande período de competitividade gerado pelos seus avanços. Por este motivo, torna-se bastante importante

considerar medidas que venham a melhorar a competitividade dos produtos, colocando-os em igualdade de condições. Para tal, alguns aspectos devem ser considerados, sendo que aumentos de produtividade, qualidade e diminuição dos custos operacionais estão entre os principais.

Segundo Berndsen (2008), as leis que restringem o corte de árvores estão cada vez mais rigorosas e o consumo de produtos florestais está aumentando; com isso o setor florestal está passando por sérias dificuldades econômicas devido ao aumento do preço da madeira, ocasionado pela crise do seu suprimento. Salgado *et al.* (1994), afirmam que o aumento do preço da madeira e sua futura escassez no mercado propiciam uma busca de novos materiais alternativos à sua utilização nos painéis. De acordo com Chamma (2004) os painéis alternativos podem contribuir para o atendimento dessa demanda.

Em virtude de possuir diversas características favoráveis, encontram utilizações das mais variadas, como na construção civil para aplicações estruturais ou não (pisos, forros, paredes, esquadrias, portas, telhados, andaimes, formas de concreto etc.), na construção de barcos e na fabricação de móveis (partes estruturais e decorativas), instrumentos musicais, embalagens industriais, caixas e outros, (Bortolotto e Garcia, 2003).

Existem dois tipos básicos, sendo um de uso interno, colado principalmente com resinas à base de uréia-formaldeído; e outro de uso externo, em que na maioria das vezes a resina utilizada é de base fenólica segundo Tomaselli (1998).

De acordo com Dacosta *et al.* (2005), a resina de uréia é notavelmente versátil, usada para unir elementos de madeira, e consideravelmente menos custosa que as resinas fenólicas ou resorcinólicas.

Battistelle (2006), afirma que as proporções usuais adotadas pela indústria para resinas de UF (uréia-formaldeído) é 12% da massa total de partículas, misturando-se água na quantidade de 5% do valor do adesivo.

Pizzi (1994), diz que as vantagens do uso de adesivos de UF são: solubilidade em água inicial, dureza, não-inflamável, propriedades térmicas boas, ausência de cor na cura dos polímeros, fácil adaptabilidade para uma variedade de condições de cura. E, como desvantagens o autor cita a falta de resistência à água pela deterioração dos laços químicos e a suscetibilidade para emissão de vapores de formaldeído.

O uso de catalisadores na indústria de chapas visa reduzir o pH da resina aplicada e acelerar a cura.

Entre os diversos tipos de catalisadores disponíveis, o sulfato de amônio e o cloreto de amônio são os mais utilizados, devido aos baixos custos. Porém, o uso de cloreto em chapas é restringido em muitos países, devido à formação de compostos clorados pela incineração em caldeiras. Dessa forma o mais indicado é o sulfato de amônio. (Lessmann, 2008 apud Pollnow, 2010).

O conhecimento das propriedades físico-mecânicas das chapas de partículas é uma informação importante para os vários tipos de usos. Estas refletem diretamente a qualidade da produção, podendo-se intervir no processo de fabricação trazendo melhorias na produção, de acordo com Garbe (2009).

A geometria das partículas é uma das variáveis que determinam as características físicas e mecânicas de chapa. As partículas podem ser de madeira ou qualquer outro material lignocelulósico, (Chamma, 2004). O teor de umidade das partículas de madeira, destinadas à produção de chapas, deve-se situar entre 3 e 6%. Entretanto, é importante ressaltar que, na operação de aplicação do adesivo, normalmente na condição aquosa, este conteúdo de umidade se eleva. (Moslemi, 1974 apud Albuquerque *et al.*, 2000). Segundo Chamma (2004), o teor de umidade das partículas, na prensagem, exerce influência na resistência à compressão. No processo de prensagem, a transferência de calor no interior do painel é comandada pela umidade e essa transferência de calor promove a cura da resina.

Em razão destes fatores, é de fundamental importância o desenvolvimento de pesquisas que permitam a otimização da produção de chapas de partículas, utilizando resíduos, considerando as propriedades físicas e mecânicas envolvidas, com a intenção de atingir um melhor rendimento da matéria prima utilizada e menor custo industrial. Baseando-se nisso, tem-se como objetivo desenvolver e avaliar a qualidade das chapas de partículas confeccionadas com incorporação de resíduos classe II A - não inerte, provenientes de indústria de nutrição animal através de suas propriedades físico-mecânicas e compará-las com as recomendadas pelas normativas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

- a. Coleta e preparo das partículas: Foram coletados 450 Kg de resíduo proveniente de coletores de pó, limpeza de peneiras, sobra de produção e varredura de uma empresa de nutrição animal localizada em Apucarana/PR, e realizado o quarteamento segundo a ABNT-NBR 10.007

(2004). Obteve-se cerca de 70 Kg de material na forma de pó, como mostra a Figura 1, e este foi armazenado em bombona de 100L.

Figura 1. Partículas de resíduo.



Foram coletados 50 Kg de madeira de uma marcenaria situada na cidade de Arapongas/PR. O material foi separado em partículas finas e pequenas, retidas em peneira com abertura de 0,071 cm; partículas médias retidas em peneiras com abertura de 0,141 cm, e partículas pouco mais compridas e grossas retidas em peneiras com abertura de 0,17 cm, conforme apresentados nas Figuras 2, 3 e 4, respectivamente. A madeira foi armazenada em sacos plásticos com capacidade para 50 Kg.

Figura 2. Partículas de madeira retidas na peneira de abertura de 0,071 cm.



Figura 3. Partículas de madeira retidas na peneira de abertura de 0,141 cm.



Figura 4. Partículas retidas na peneira de abertura de 0,170 cm.



- b.** Análise das partículas: As amostras de resíduo e de madeira foram analisadas com relação aos seguintes parâmetros: teor de umidade, densidade aparente, densidade compactada, segundo metodologia Instituto Adolfo Lutz (1985), e granulometria - Diâmetro Geométrico Médio (DGM), de acordo com metodologia do Compendio Brasileiro de Alimentação Animal (2005), que foi calculado pelas Equações (1), (2), (3), (4) e (5):

Calculou-se através da Equação (1) o peso da fração do ingrediente retido em cada peneira (PR_i):

$$PR_i = (P_{i_2} - P_{i_1}) \quad (1)$$

Onde:

PR_i = peso retido na peneira i ;

Pi_2 = peso da peneira i , mais a fração retida;

Pi_1 = peso da peneira i ;

Calculou-se através da Equação (2) a percentagem do ingrediente retido em cada peneira (%R):

$$\%R = (PR_i \times 100) / P \quad (2)$$

Onde:

$\%R$ = percentagem retida em cada peneira;

A $\%R$ é multiplicada por fatores convencionados e constantes que decrescem de seis à zero com o decréscimo dos furos das seis peneiras utilizadas.

Determina-se o IU , somando-se os valores de $\%R$ das peneiras grossas, médias e finas.

MF é dado pelo cálculo da Equação (3) onde o produto total obtido é dividido pelo total retido:

$$MF = IU / 100 \quad (3)$$

DGM é calculado pela Equação (4), adaptada para expressar o resultado em mm:

$$DGM(mm) = 104,14 \times 2^{MF} \quad (4)$$

Após cálculo de DGM em mm, transformou-se em cm através da Equação (5):

$$DGM(cm) = DGM(mm) / 10 \quad (5)$$

c. Fabricação das chapas de partículas:

A confecção das chapas foi desenvolvida em uma empresa localizada em Londrina/PR.

Nesta etapa foram observados os trabalhos de Chamma (2004) e Battistelle *et al.* (2006). A Tabela 1 apresenta as quantidades de madeira e resíduo utilizadas em cada porcentagem e granulometria na confecção das chapas de partículas.

Tabela 1. Peso da madeira e do resíduo utilizados em cada chapa.

GRANULOMETRIAS (CM) E RESÍDUO (%)	QUANTIDADE DE MADEIRA (G)	QUANTIDADE DE RESÍDUO (G)
0,071-0	465,00	0
0,071-10	418,50	46,50
0,071-20	372,00	93,00
0,141-0	460,00	0
0,141-10	414,00	46,00
0,141-20	368,00	92,00
0,170-0	429,00	0
0,170-10	386,10	42,90
0,170-20	343,20	85,80

Foi utilizado 12% de resina, preparada com 5% de catalisador e 5% de água. Foram misturados todos os componentes e transferidos para uma forma quadrada de madeira de 20x30 cm² forrada com papel alumínio.

A massa de partículas foi moldada e compactada formando um colchão de partículas. Esse colchão de partículas foi embrulhado com papel alumínio e levado à prensa hidráulica com aquecimento, onde foi prensada por 25 minutos, em temperatura de 105°C. Após secagem a chapa foi retirada da prensa e deixada em repouso por 24 h.

d. Análise das chapas de partículas:

Foram retirados dez corpos-de-prova de cada chapa, com tamanhos de 50x50 mm para den-

sidade e umidade e 25x25 mm para inchamento e absorção de água, de acordo a ABNT-NBR 14.810-3 (2006), e identificados.

Foram analisadas pelas diferentes granulometrias e porcentagens de resíduos substituindo a madeira. Os corpos de prova foram submetidos a análises de umidade, densidade, inchamento em espessura e absorção de água segundo a mesma norma.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 têm-se os resultados obtidos nas análises realizadas no resíduo.

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos nas análises realizadas nas partículas de madeira.

Tabela 2. Resultado das análises realizadas no resíduo.

ANÁLISES	RESULTADOS
Umidade (%)	7,18
Densidade Aparente (g/cm ³)	0,7359
Densidade Compactada (g/cm ³)	0,864
DGM (cm)	0,0267

Tabela 3. Resultados das análises realizadas nas partículas de madeira.

ANÁLISES	RESULTADOS		
	PARTÍCULAS RETIDAS EM 0,071 CM	PARTÍCULAS RETIDAS EM 0,141 CM	PARTÍCULAS RETIDAS EM 0,17 CM
Umidade (%)	9,97	9,64	9,95
Densidade Aparente (g/cm ³)	0,1551	0,1494	0,1555
Densidade Compactada (g/cm ³)	0,1974	0,1823	0,1831
DGM (cm)	0,0956	0,1583	0,3069

O teor de umidade do resíduo e das partículas de madeira mostrados nas Tabelas 2 e 3, apresentaram-se excessivos à recomendada por Albuquerque *et al.*, 2000, causando um efeito retardante na cura do adesivo podendo ocasionar a necessidade de um tempo de prensagem mais longo, até que o vapor seja liberado e ocorra a adesão entre as partículas das camadas interiores. (Chamma, 2004). Outros autores como Kollmann *et al.* (1975) apud Battistelle *et al.* (2006) indicam uma faixa de umidade até 12% permitindo uma boa penetração de colagem do adesivo, justificando que as partículas muito secas podem dificultar seu manuseio, aumentando excessivamente a quantidade de pó, como também, a produção de chapas com grande facilidade de esfacelamento nas bordas.

Obtiveram-se os valores de densidade apontados nas Tabelas 2 e 3. Dacosta (2004), afirma que espécies de madeira empregadas nas indústrias de chapas apresentam uma densidade variando de 0,40 a 0,60 g/cm³. Todas as diferentes granulometrias das madeiras apresentaram uma baixa densidade e o resíduo por sua vez uma densidade alta quando comparada a do autor citado. Segundo o mesmo autor, para espécies com densidade fora deste intervalo é recomendada sua mistura, em proporções adequadas, com outras madeiras de modo a se obter a densidade final desejada. A densidade também exerce influência no consumo de matéria-prima para a produção das chapas, painéis de mesma densidade podem ser feitos com menor volume de madeira pesada do que de madeira leve, em função de permitirem menor compressibilidade. Portanto, a mistura da madeira com o resíduo apresenta-se ideal, pois pode levar a uma melhor densidade e conseqüentemente ao menor consumo de matéria-prima. De acordo com Azambuja, *et al.*, 2006, as propriedades físicas e mecânicas das chapas dependem do processo de fabricação denominado “razão de compac-

tação”, ou seja, quanto menor for a densidade das espécies utilizada para confecção das chapas maior será a possibilidade de compactação. Dacosta *et al.*, 2005, observaram que os painéis produzidos com espécies de baixa densidade geralmente apresentam maior resistência a flexão.

A DGM apresentada na Tabela 3 mostrou que as partículas de madeira retidas na peneira de abertura 0,071 cm apresentaram-se menores, do que as retidas na peneira de abertura 0,141 cm que por sua vez também são menores baixa do que as retidas na peneira de abertura 0,17 cm.

Segundo Vitali *et al.* (1992) apud Haselein *et al.* (2002) quanto maior as granulometrias, maior a redução do módulo de elasticidade à flexão estática, devido a quantidade de vazios entre as partículas. Já a DGM do resíduo mostrado na Tabela 2, apresentou uma granulometria mais baixa do que a menor granulometria de madeira, isto é, partículas finas e pequenas, que de acordo com o mesmo autor distribuem melhor as tensões, além de produzirem menor quantidade de espaços vazios no interior das chapas, produzindo chapas mais resistentes.

Após a confecção, as chapas foram nomeadas para facilitar a identificação e interpretação dos dados. As DGMs da madeira são indicadas pelas letras P, M e G, seguida da porcentagem de resíduo adicionado. Assim a chapa utilizando a madeira com DGM 0,0956 cm, foi chamada P, ou seja, P0%, P10% ou P20%, a chapa utilizando madeira com DGM 0,1583 cm, foi chamada M, ou seja, M0%, M10% ou M20%, e a chapa utilizando madeira com DGM 0,3069 cm, foi chamada G, ou seja, G0%, G10% ou G20%.

As chapas P0%, P10% ou P20%, constantes na Figura 5, apresentaram-se bastante ásperas e não apresentaram um esfacelamento apreciável devido às partículas serem menores.

Figura 5. Chapas com partículas de DGM 0,0956 cm (P) e adição de 0%, 10% e 20% respectivamente.



As chapas M0%, M10% ou M20%, constantes na Figura 6, também não apresentaram esfacela-

mento apreciável e um pouco ásperas, que diminuiu com o aumento das porcentagens de resíduo.

Figura 6. Chapas com partículas de DGM 0,1583 cm (M) e adição de 0%, 10% e 20% respectivamente.



As chapas G0%, G10% ou G20%, mostradas na Figura 7, não apresentaram esfacelamento e não

se apresentaram ásperas, e com o aumento da adição de resíduo notou-se a melhor compactação.

Figura 7. Chapas com partículas de DGM 0,3069 cm (G) e adição de 0%, 10% e 20% respectivamente.



Na Tabela 4 são apresentados os valores médios de teor de umidade e densidade das chapas.

Tabela 4. Resultados das análises de teor de umidade e densidade realizado nas chapas de partículas.

CHAPAS (%)	RESULTADOS DAS ANÁLISES	
	UMIDADE (%)	DENSIDADE (KG/M ³)
P 0	10,7556	500,34
P 10	10,9258	663,52
P 20	10,4678	789,42
M 0	10,6617	762,10
M 10	9,9196	705,58
M 20	10,6849	792,74
G 0	10,8165	665,19
G 10	10,9881	679,77
G 20	9,9289	847,40

(P – partículas de 0,0956 cm com 0%, 10% e 20% de resíduo, M – partículas de 0,1583 cm com 0%, 10% e 20% de resíduo e G – partículas de 0,3069 cm com 0%, 10% e 20% de resíduo).

O teor de umidade dos corpos-de-prova indicam valores entre 9,9196% e 10,9881% entre todas as chapas. Segundo norma da ABNT-NBR 14.810-2/2006, os valores de teor de umidade devem estar entre 5 e 11 %, portanto todas as chapas atendem aos valores de umidade presentes na norma da ABNT-NBR 14.810-2/2006, a chapa M10% e G20% foram as que apresentaram os melhores resultados, abaixo de 10%.

A densidade variou significativamente em algumas chapas, a norma ABNT-NBR 14.810-2 (2006) estabelece uma densidade de 551 Kg/m³ a 750 Kg/m³, a chapa P0% apresentou-se abaixo do estipulado com 500,34 Kg/m³, segundo Chamma (2004), isso pode ocorrer devido à perda de mate-

rial do colchão pelas bordas no momento da prensagem ou na homogeneização durante preparação. As chapas P20%, M0%, M20% e G20% apresentaram uma discrepância nos valores de densidade quando comparada as recomendadas pela norma da ABNT-NBR 14.810-2/2006, nota-se que todas as chapas com 20% de resíduo apresentaram valores de densidade elevados quando comparado a norma da ABNT-NBR 14.810-2/2006, ocorrendo devido à alta densidade do resíduo, que influencia na fabricação da chapa. O motivo da chapa M0% estar um pouco acima é homogeneidade e distribuição, uma vez que foi realizada manualmente e, segundo Maloney (1996), deve haver homogeneidade de distribuição do adesivo nas partículas, para assegu-

rar propriedades uniformes em toda a extensão da chapa. No entanto, apesar dos valores diferirem dos estipulados pela norma da ABNT-NBR 14.810-2/2006, outros autores como Barbosa *et al* (2006) apud Soares *et al* (2008), trabalhando com resíduos de bambu (*Dendrocalamus giganteus*), usando a mesma concentração da resina uréia-formaldeído (UF) de 12%, obtiveram uma densidade de 1011,69 Kg/

m³, também Silva e Lahr (2008), obtiveram a densidade de 870 Kg/m³ em suas chapas, bem acima da recomendada pela norma da ABNT-NBR 14.810-2/2006, caracterizando as chapas como sendo de alta densidade.

Na Tabela 5 são apresentados os resultados de inchamento e absorção de água das chapas após 2 e 24 h de imersão.

Tabela 5. Resultados das análises de inchamento e absorção de água realizada nas chapas de partículas.

CHAPAS (%)	RESULTADOS DAS ANÁLISES			
	INCHAMENTO EM 2H (%)	INCHAMENTO EM 24H (%)	ABSORÇÃO DE ÁGUA EM 2H (%)	ABSORÇÃO DE ÁGUA EM 24H (%)
P 0	5,8365	7,9561	82,5430	81,8610
P 10	6,1914	8,3073	57,8900	62,0650
P 20	7,6161	9,8943	50,2230	53,1520
M 0	11,3310	14,7387	68,9894	73,6169
M 10	13,4725	16,8749	48,0468	52,4766
M 20	10,1600	12,3826	46,8281	49,9589
G 0	13,4166	17,5397	55,7924	62,4343
G 10	10,1277	13,3850	47,0389	54,8744
G 20	10,9290	12,5357	29,4662	36,3386

(P – partículas de 0,0956 cm com 0%, 10% e 20% de resíduo, M – partículas de 0,1583 cm com 0%, 10% e 20% de resíduo e G – partículas de 0,3069 cm com 0%, 10% e 20% de resíduo).

Segundo Battistelle (2006), inchamento é uma das variações que um material apresenta, quando este entra em contato com a umidade, e consiste no aumento linear de sua espessura.

As chapas apresentaram inchamento em 2h elevados quando comparado a norma ABNT-NBR 14.810-2 (2006), que estabelece máximo de 8%, com exceção das chapas P0%, P10% e P20% que ficaram abaixo desses valores, no entanto, tiveram uma absorção de água bastante significativa. As chapas M10% e G0% foram as que apresentaram maior inchamento. A norma estabelece também após ensaio cíclico para chapas de 8 - 13 mm de espessura, um inchamento de 14%, após 24h de imersão, somente as chapas M0%, M10% e G0% ultrapassaram esse valor, as demais apesar de aumentar o valor de inchamento, não ultrapassaram. A absorção de água variou bastante, mas é visível que as chapas contendo maior porcentagem de resíduo absorveram menos água em 2h e em 24h.

O inchamento e a absorção de água estão diretamente ligados a densidade e ao tamanho das partículas. A chapa P0%, que apresentou menor densidade, apresentou a maior absorção de água e o menor inchamento, isso porque ela apresenta partículas menores, que se compactam melhor, utilizando uma maior quantidade de madeira, deixando menos espaços vazios na chapa. Já a chapa G20%

que apresentou a maior densidade, mostrou menor absorção de água, devido ao volume de madeira utilizada ser menor e o tamanho das partículas maiores, o que deixaria mais espaços vazios, mas com a adição de resíduo que ocupam esses espaços, nota-se que o inchamento também é mais controlado. Assim ocorreu diminuição do inchamento e da absorção de água conforme a adição de resíduo em G0%, G10% e G20%.

A diferença e variação entre os demais valores ocorreram devido à pouca homogeneização da madeira com o resíduo e a resina, como foi citado por Maloney (1996) anteriormente.

CONCLUSÃO

A umidade apresentada pelas partículas e pelos resíduos não prejudicou a confecção das chapas, pois todas se apresentaram dentro dos padrões estipulados pela norma da ABNT-NBR 14.810-2/2006.

De acordo com os resultados obtidos nas chapas de DGMs 0,1583 cm e 0,3069 cm, quanto maior a adição de resíduo, melhor elas se apresentam em relação à absorção de água, ou seja, quanto maior a adição de resíduo, menos elas absorvem água.

Nas chapas de DGM 0,3069 cm, a substituição de parte da madeira pelo resíduo apresentou resultado satisfatório, principalmente com a substituição de 20%. Além da absorção de água também

apresentou resultados muito bons quando comparados a norma da ABNT-NBR 14.810-2/2006 no inchamento em espessura. No entanto, apresentou uma maior densidade, classificando-a como chapa de alta densidade. A alta densidade não vem a prejudicar-la, podendo ainda aumentar sua resistência mecânica, que pode ser comprovada com um ensaio de resistência a flexão estática.

Já as chapas de DGM 0,0956 cm, não apresentaram valores satisfatórios quando comparados a norma da ABNT-NBR 14.810-2/2006, além de não terem apresentado esfacelamento apreciável.

REFERÊNCIAS

Albuquerque, C. E. C.; Iwakiri, S.; Tomaselli, I.; Keinert, S. *Diagnóstico da variação do conteúdo de umidade da madeira no processo de produção de chapas de madeira aglomerada*. Floresta e Ambiente, Seropédica, n.1, p. 121-128, 2000.

Ângulo, S. C.; Zordan, S. E.; John, V. M. *Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem de Resíduos na Construção Civil*. PCC - Departamento Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica. São Paulo-SP, 2001.

Associação brasileira da indústria da madeira processada mecanicamente (ABIMCI). *Artigo técnico nº7*. Curitiba, 6 p. 2003.

Associação brasileira de normas técnicas. NBR 10.004. *Resíduos sólidos: classificação*. Rio de Janeiro, 71p. 2004.

Associação brasileira de normas técnicas. NBR 10.007. *Amostragem de resíduos sólidos*. Rio de Janeiro, 21p. 2004.

Associação brasileira de normas técnicas. NBR 14.810. *Chapas de madeira aglomerada - Parte 2: Requisitos*. Rio de Janeiro, 4p. 2006.

Associação brasileira de normas técnicas. NBR 14.810. *Chapas de madeira aglomerada - Parte 3: Métodos de ensaio*. Rio de Janeiro, 27 p. 2006.

Azambuja, M. A.; Nascimento, M. F.; Lahr, F. A.; Silva, S. A. M.; Matthiesen, J. A. *Análise da viabilidade de utilização de resíduos de maçaranduba na produção de painéis de madeira aglomerada*. X EMBRAMEM, São Pedro-SP, 2006.

Battistelle, R. A. G.; Santos, M. F. N.; Miyazato T.; Redivo, C.; Freitas, P. N. P. *Estudo comparativo entre chapas de partículas confeccionadas com diferentes resíduos e sua aplicação em design de produtos*. XIII SIM-PEP, Bauru-SP, novembro de 2006.

Berndsen, R. *Caracterização Anatômica, Física e Mecânica de Laminas de Bambu (Phyllostachys pubescens)*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e de Materiais) Departamento de Pesquisa e Pós-Graduação. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba-PR. 2008.

Bortoletto, G.; Garcia, J. N. *Propriedades e rigidez à flexão estática de painéis OSB e compensados*. SIF - Sociedade de Investigações Florestais, v.28, n.4, Viçosa-MG, p. 563-570. 2004.

Chamma, P. V. *Produção de Painéis a partir de resíduos sólidos para uso como elemento arquitetônico*. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP, Botucatu-SP. 2004.

Compendio brasileiro de alimentação animal – sindicações. *Manual de Procedimentos Analíticos*. 2005. n.º28. Emissão 1992/ Revisão 2009.

Dacosta, L.; Haselein, C.; Santini, E.; Schneider, P.; Calegari, L. *Qualidade das Chapas de Partículas Aglomeradas Fabricadas com Resíduo do Processamento Mecânico da Madeira de Pinus Elliotti (Engelm)*. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 15, n. 3, p. 311-322, 2005.

Dacosta, L. P. E. *Utilização de Resíduos do Processamento Mecânico da Madeira para a Fabricação de Chapas de Partículas Aglomeradas*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Tecnologia de Produtos Florestais, da Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria-RS. 2004.

Garbe, E. *Controles de qualidade em indústrias de compensados: processo produtivo e produto*. Dissertação (Mestrado de Tecnologia de Produtos Florestais para matéria de “Painéis”) Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal - Setor de Ciências Agrárias. Universidade Federal do Paraná. Curitiba-PR. 2009.

Haselein, C. R.; Calegari L.; Barros M. V.; Hack C.; Hillig, É.; Pauleski D. T.; Pozzera F. *Resistência Mecânica e à umidade de painéis de painéis aglomerados com partículas de madeira de diferente dimensões*. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 127-134, 2002.

Instituto Adolfo Lutz. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz: *Métodos químicos e físicos para análise de alimentos*. 3º ed. São Paulo: IMESP, 1985.

John, V. M. *Reciclagem de Resíduos na Construção Civil: Contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento*. PCC - Departamento Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica. EP USP. São Paulo-SP, 2000.

- John, V. M.; Angulo, S. C.; Agopyan, V. *Sobre a necessidade de metodologia de pesquisa e desenvolvimento para reciclagem*. PCC - Departamento Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica. EP USP. São Paulo-SP, 2003.
- Lucas, D.; Benatti, C. T. *Utilização de resíduos industriais para a produção de artefatos cimentícios e Argilosos empregados na construção civil*. Revista em Agronegócios e Meio Ambiente, v. 1, n. 3, p. 405-418, 2008.
- Maloney, T. M. *The family of wood composite materials*. Forest Products Journal, v.2, n.46, p.19-26, 1996.
- Manhães, J. P.; Holanda, J. N. *Caracterização de Resíduos Sólidos "Pó de Rocha Granítica" Gerada na Indústria de Rochas Ornamentais*. Revista Química Nova, v. 31, n. 6, p. 1301-1304, 2008.
- Menezes, R. R.; Neves, G. de A.; Ferreira, H. C. *O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.6, n.2, p.303-313, 2002.
- Olandoski, D. P. *Rendimento, Resíduos e Considerações sobre Melhorias no Processo em Indústria de Chapas Compensadas*. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. Curitiba-PR. 2001.
- Pollnow, R. *Painéis compensados de Pinus taeda produzidos com resina uréia-formaldeído e diferentes proporções de resina à base de tanino*. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Industrial Madeireira - Universidade Federal de Pelotas. Pelotas-RS. 2010.
- Pizzi, A. *Advanced wood adhesives technology*. New York: Marcel Dekker, 370 p. 1994.
- Salgado, A. L. B.; *Instruções Técnicas sobre o bambu*. Instituto Agrônomo de Campinas, 1994.
- Silva, S. A. M.; Lahr, F. A. R. *Aproveitamento de Resíduo Sólido de Cordia goeldiana para a produção de chapas de partículas*. XI EMBRAMEM, Londrina-PR, 2008.
- Tomaselli, I. *A indústria de painéis no Brasil e no mundo: tendências de mudanças do perfil de produção e usos*. In: Seminário Internacional sobre Produtos Sólidos de Madeira de Alta Tecnologia, Belo Horizonte-MG. Anais...Viçosa-MG: SIF/ UFV/DEF, p. 55-64. 1998.