

INCORPORAÇÃO DE LODO DE TRATAMENTO DE ÁGUA NA FABRICAÇÃO DE PAINÉIS DE MADEIRA AGLOMERADA

Cynthia Algayer da Silva¹

Andressa Algayer da Silva²

Letícia Nishi³

Marcela Fernandes da Silva⁴

Luciana Cristina Soto Herek Rezende⁵

Rosângela Bergamasco⁶

Resumo: Durante o processo de tratamento da água bruta para a produção de água potável, há a geração de resíduo na etapa de decantação, denominado lodo, que possui como principais características a alta concentração de matéria orgânica e metais pesados, podendo desta forma causar riscos ao ambiente quando descartado de maneira inadequada. O presente trabalho teve como objetivo principal a incorporação de diferentes porcentagens deste lodo na fabricação de painéis de madeira aglomerada, como uma forma de disposição final adequada para o lodo de tratamento de água e também para a maravalha proveniente do beneficiamento da madeira de pinus. Após a caracterização físico-química do lodo e partículas de madeira os painéis confeccionados foram submetidos a ensaios físicos de densidade, teor de umidade, absorção de água e inchamento em espessura segundo a norma brasileira ABNT NBR 14.810-3 (2006). O melhor tratamento encontrado foi com incorporação de 30% de lodo de ETA e utilizando a maior porcentagem de resina de ureia-formaldeído (UF) 16%, este painel apresentou um valor de densidade de 520,15 kg m⁻³. Os resultados mostraram que a incorporação do resíduo em painéis de madeira aglomerada é uma opção promissora como uma forma de disposição final para este resíduo, desenvolvendo assim um subproduto e incentivando desta forma o desenvolvimento sustentável, colaborando com o meio ambiente.

Palavras chave: Lodo ETA, maravalha, aglomerado, reaproveitamento.

Abstract: During the process of treatment of raw water in drinking water, there is the generation of residue in the settling step, referred as sludge, which has as main characteristics the high concentration of organic matter and heavy metals, and thus may cause risks to the environment when discarded improperly. This study aimed to incorporating different percentages of this sludge in the manufacture of particleboard panels as a form of suitable disposition for water treatment sludge and also for shavings of pine wood processing. After the physicochemical characterization of the sludge and particles wood, the manufactured panels were subjected to physical tests of density, moisture content, water absorption and thickness swelling under Brazilian standard ABNT NBR 14810-3 (2006). The best treatment was found with the incorporation of 30% of the WTS sludge and using the highest percentage of resin of urea-formaldehyde (UF) 16%, this panel presented a density value of 520.15 kg m⁻³. The results showed that the incorporation of the residue in particleboard panels is a promising option as a means of disposal of this residue, by developing a by-product and stimulating the sustainable development, cooperating with the environment.

¹ Universidade Estadual de Maringá. Email: cynthiaeq@gmail.com

² Universidade Estadual de Londrina. Email: andressa_algayer@hotmail.com

³ Universidade Estadual de Maringá. Email: leticianishi@hotmail.com

⁴ Universidade Estadual de Maringá. Email: celafs@gmail.com

⁵ Universidade Estadual de Maringá. Email: lucianarezende17@gmail.com

⁶ Universidade Estadual de Maringá. Email: rosangela@deq.uem.br

Keywords: Sludge, wood particle, particleboard, reuse.

1. INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos vêm sendo amplamente estudados, pois além de serem gerados em grande quantidade tem-se dificuldade de promover uma disposição final adequada. Quando os resíduos sólidos são dispostos de maneira inadequada podem causar danos ao meio ambiente como a decomposição do solo e a contaminação de mananciais e lençol freático, logo a gestão desses resíduos é de extrema importância. (Silva et al., 2013).

A reutilização dos resíduos sólidos é uma alternativa que deve ser considerada, pois atenua o impacto ambiental e colabora para a diminuição do uso de recursos naturais. Diversos autores relatam o emprego de diferentes tipos de resíduos visando seu aproveitamento e a minimização de impacto ambiental, Herek et al. (2012) descreve a incorporação de lodo proveniente de lavanderia têxtil em tijolos cerâmicos, Kizinievic et al. (2013) estudou o uso de lodo de tratamento de água na fabricação de produtos cerâmicos, Silva et al. (2013) estudou a viabilidade da utilização de podas de árvore como materiais para confecção de aglomerados de madeira, Rodríguez et al. (2010) em seu estudo mostrou a caracterização de argamassa de cimento com a incorporação de lodo de tratamento de água.

Durante o processo de tratamento da água para consumo humano há a geração grande quantidade de resíduo, denominado lodo, que normalmente é descartado em corpos hídricos e embora seja o método mais barato de disposição final não é o destino adequado para este resíduo (Monteiro et al. 2008). Segundo a Associação Brasileira de Norma Técnica (ABNT) NBR 10.004/2004, o lodo de ETA é classificado como resíduo sólido. O lodo gerado em estação de tratamento de água (ETA), quando disposto de maneira inadequada, contribui para a contaminação do ambiente pois contém metais pesados advindos dos coagulantes químicos utilizados no processo de tratamento da água bruta e matéria orgânica em sua composição.

Com o aumento da demanda de aglomerados de madeira no mercado, a escassez de matéria prima e a grande quantidade de resíduos sólidos que vem sendo gerado, tem-se estudado a incorporação de resíduos nos aglomerados de madeira, como uma forma de dar uma disposição final adequada aos resíduos e diminuição do consumo de matéria prima. Pesquisas têm sido realizadas com a incorporação de diversos tipos de resíduos em aglomerados, como casca de noz (Pirayesh et al. 2012), talos de tabaco (Acda e Cabangon 2013), casca de arroz (Ayrilmis et al. 2012) e bambu (Biswas et al. 2011).

O consumo de painéis de madeira aglomerada de média densidade vem aumentando a cada ano. Este material pode ser utilizado na construção civil, fabricação de móveis e como decoração de interiores (Ashori e Nourbakhsh 2008), porém em relação a painéis aglomerados de baixa densidade tem-se uma informação muito limitada em literatura e segundo Wang e Sun (2002) este tipo de painel pode ter aplicação em isolamento e embalagens.

Este trabalho teve como principal objetivo estudar a incorporação de lodo de ETA na fabricação de painel de madeira aglomerada, com a finalidade de reaproveitar os resíduos de lodo de ETA e a maravalha do beneficiamento da madeira, minimizando os riscos que ambos provocam ao meio ambiente quando dispostos de maneira inadequada.

2. METODOLOGIA

2.1. Obtenção e caracterização da matéria-prima utilizada

A Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) localizada na cidade de Maringá, estado do Paraná, Brasil, realiza o tratamento da água bruta de forma convencional, com ciclo completo, composto pela sequência dos processos de coagulação, floculação, sedimentação, filtração e desinfecção. Atualmente o coagulante químico utilizado no processo de coagulação/floculação é o Policloreto de Alumínio (PAC).

O lodo foi coletado no decantador da (ETA), conforme mostra a Figura 1a, a coleta foi representativa. Devido ao alto teor de umidade que o lodo o resíduo foi seco (Figura 1b), em seguida moído em um moinho de rolo (Figura 1c), para uniformizar e diminuir o tamanho das partículas, totalizando 80 kg de resíduos coletados.

As partículas de madeira utilizadas são provenientes do corte do beneficiamento da madeira Pinus, para

fabricação de caixas e pallets de madeira (Figura 1d), a maravalha foi doada pela empresa Cia de Pinus localizada em Londrina, no estado do Paraná, Brasil. As ripas de madeira de Pinus são passadas por uma plaina para o “desengrosso” da madeira, gerando um resíduo sólido, maravalha, conforme mostra a Figura 1e. Após a coleta das partículas, o resíduo foi triturado e armazenado em embalagens plásticas (Figura 1f), resultando em 400 kg de partículas de madeira.

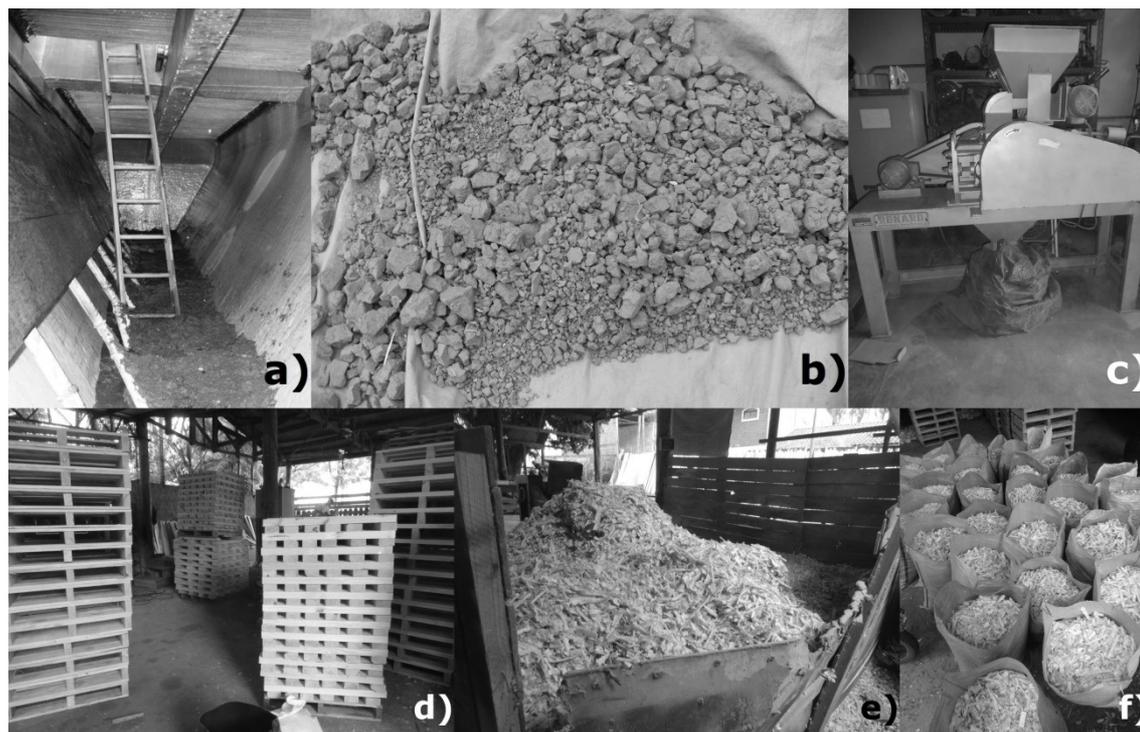


Figura 1 – a) Coleta do lodo no decantador da ETA, b) Secagem do lodo, d) Moinho de rolo, d) Pallets e caixas de madeira fabricadas na empresa, e) Local da coleta da maravalha, f) Maravalha armazenada.

Após as etapas de preparação das partículas de madeira e do lodo descritos acima, estes foram caracterizados com relação a testes físicos de granulometria e teor de umidade, e análise de superfície por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e microanálise química.

O teste de granulometria foi realizado de acordo com a norma NBR 7181/1984. O teor de umidade foi realizado de acordo com a norma DNER 213/1994, para a realização da análise pesou-se 100g do material em um cadinho que foi levado a estufa à 110°C até massa constante, após o cadinho foi colocado em um dessecador até atingir temperatura ambiente e pesado novamente.

Para a caracterização dos materiais em relação ao teste de superfície foi realizado a análise de (MEV), para isso as amostras foram aderidas a um suporte de alumínio como auxílio de uma fita dupla face e metalizado com ouro. As micrografias foram obtidas por meio de microscópio eletrônico de varredura de elétrons Superscan SS – 550 marca Shimadzu, operando com tensão de aceleração de 15 kV. Além disso, uma microanálise química foi realizada por espectroscopia de dispersão de energia (EDS), ligado ao MEV.

2.2. Produção dos painéis de madeira aglomerada

O experimento constituiu de 10 tratamentos, 3 repetições por tratamento, totalizando 30 painéis, onde foram analisadas quantidades de incorporação de lodo, em diferentes proporções da resina de ureia-formaldeído (UF), e fixando a densidade do painel em 700 kg m⁻³, conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1 – Delineamento experimental.

Tratamentos	Lodo (%)	Madeira (%)	Resina (%)
1	0	100	12
2	5	95	12
3	10	90	12
4	20	80	12
5	30	70	12
6	0	100	16
7	5	95	16
8	10	90	16
9	20	80	16
10	30	70	16

A quantidade de partículas (Lodo e Partículas de madeira) foi calculada com base no peso seco das partículas (0% de umidade). A resina utilizada foi de ureia-formaldeído (UF) da marca ALPHAMITE, com uma porcentagem de sólidos de 66%. A quantidade de catalisador sulfato de amônia (NH₄)₂SO₄ utilizado foi de 3% sobre a quantidade de resina UF na forma sólida. Para utilizar o catalisador é necessário uma diluição em água, logo considerou-se uma solução com concentração de 25%. Também foi utilizado 1% de emulsão de parafina da marca ISOGAMA, calculado com base no peso seco do catalisador, com 51% sólidos em sua composição, esta parafina foi usada para auxiliar na redução da absorção de água no painel de madeira aglomerada. De acordo com os cálculos determinou-se a composição dos painéis conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2 – Quantidade de materiais utilizados na fabricação dos painéis.

Tratamento	Partículas com 12% de umidade (g)	LODO		MADEIRA		Quantidade de resina líquida (g)	Quantidade de Parafina líquida (g)	Solução de Catalisador (25%)
		(%)	Peso (g)	(%)	Peso (g)			
T1	9788,08	0	0,00	100	9788,08	1588,97	171,36	125,85
T2	9788,08	5	489,40	95	9298,68	1588,97	171,36	125,85
T3	9788,08	10	978,81	90	8809,27	1588,97	171,36	125,85
T4	9788,08	20	1957,62	80	7830,47	1588,97	171,36	125,85
T5	9788,08	30	2936,42	70	6851,66	1588,97	171,36	125,85
T6	9484,58	0	0,00	100	9484,58	2052,94	166,05	162,59
T7	9484,58	5	474,23	95	9010,35	2052,94	166,05	162,59
T8	9484,58	10	948,46	90	8536,12	2052,94	166,05	162,59
T9	9484,58	20	1896,92	80	7587,66	2052,94	166,05	162,59
T10	9484,58	30	2845,37	70	6639,20	2052,94	166,05	162,59

Após a pesagem da maravalha, resina, catalisador e emulsão de parafina nas quantidades calculadas conforme mostra a Tabela 2, todo este material foi misturado manualmente. Posteriormente foi formado um colchão de partículas com a mistura, que foi montado sobre um molde de madeira, e pré-prensado, para diminuir os espaços vazios entre as partículas e evitar perdas durante o transporte para a prensa a quente. Em seguida, o colchão de partículas foi prensado a quente por uma prensa da marca SIRMA, com uma temperatura 110 °C e uma pressão de aproximadamente 150 kgf cm⁻² por 20 minutos. Após a prensagem os painéis

foram mantidos a temperatura ambiente. O painel foi confeccionado nas dimensões de 105x105 cm e com uma espessura de 1,5 cm.

2.3. Caracterização dos painéis

Após a etapa de produção, os painéis foram esquadrejados para a realização dos testes físicos de teor de umidade, densidade, absorção de água (AA) em 2 e 24 horas e inchamento em espessura (IE) em 2 e 24 horas, segundo a norma técnica brasileira ABNT NBR 14810-3 (2006). Os resultados dos testes físicos encontrados para os painéis foram

comparados com os limites estabelecidos segundo a norma brasileira ABNT NBR 14810-2 (2006) para painéis de média densidade.

Para as análises de teor de umidade e densidade foram usados corpos de prova com dimensões de 50x50 cm, já para os ensaios de absorção de água e inchamento em espessura foram utilizados corpos de prova de 25x25 cm.

Foram realizados, para comparação dos resultados, a Análise de Variância (ANOVA) e o teste de comparação de médias, teste Tukey, com 95% de confiança, sendo significativo um p-valor < 0,05, para verificar as diferenças significativas nas diversas porcentagens de incorporações de resíduo nos parâmetros avaliados, através do programa estatístico STATSOFT STATISTICA versão 8.0.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Caracterização das matérias primas

3.1.1 Análises físicas

De acordo com a análise de umidade, verificou-se que os resíduos de lodo de ETA e partículas de madeira apresentaram uma média de 9,03% e 8,88% em peso de água em sua composição, respectivamente.

Neste trabalho as partículas de lodo e madeira foram secas a temperatura ambiente ficando então com uma umidade acima do recomendado de 3% a 6%, porém mesmo a umidade acima do desejado as placas não apresentaram defeitos como formação de bolhas e explosão dos painéis durante o processo de prensagem a quente.

Na análise granulométrica para o lodo de ETA, a distribuição do tamanho das partículas ficou na faixa de 0,001 a 1,2 mm, e para as partículas de madeira observou-se uma retenção de partículas na faixa de 0,6 a 4,0 mm de diâmetro, conforme mostra a Figura 2 a) e b), que apresenta a curva granulométrica obtida para resíduos do lodo de ETA e partículas de madeira respectivamente. Os resíduos apresentaram uma faixa ampla de distribuição do tamanho das partículas, pois neste trabalho

optou-se por usar as partículas de lodo e de madeira da forma que saíram do triturador, sem uma classificação prévia da granulometria.

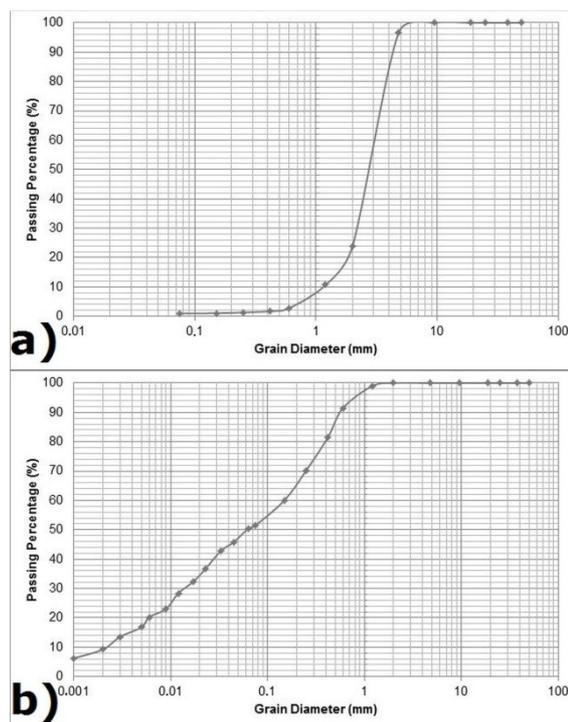


Figura 2 – Curva granulométrica para a) Lodo de ETA e b) Partículas de madeira.

3.1.2. Análises de superfície (MEV e EDS)

Em relação às análises de superfícies feitas para o Lodo ETA pode-se verificar, através da imagem obtida por MEV (Figura 3a), que há uma grande distribuição de tamanho de partícula, não apresentando um formato e dimensão padronizada, ou seja, o resíduo apresenta um perfil irregular, isso é devido ao fato de não ter obtido uma granulometria padrão no processo de preparação das partículas de lodo. Enquanto que no mapeamento por EDS do lodo de ETA indicou a presença de C, N, O, Na, Mg, Al, Si, P, Cd e Fe, conforme mostra a Figura 3b.

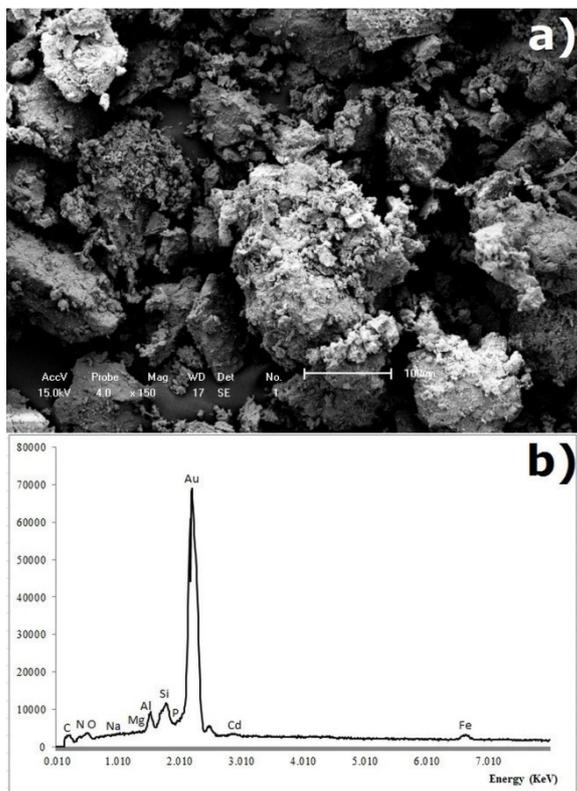


Figura 3 – a) Micrografia do lodo de ETA obtida por MEV b) Mapeamento do lodo de ETA por EDS

O alumínio e o ferro são provenientes dos produtos adicionados durante a etapa de coagulação/floculação no processo de tratamento da água bruta, de acordo com Yang et al (2010) compostos a base de alumínio, como o sulfato de alumínio e o policloreto de alumínio, são amplamente utilizados no tratamento da água, sendo que o Al é facilmente difundido em águas naturais podendo tornar tóxico.

De acordo com Li et al. (2013) as características químicas encontradas no lodo de tratamento de água variam de acordo com a qualidade da água bruta e do tipo e quantidade de coagulante utilizado no tratamento. Nair e Ahammed (2013) encontraram em seu trabalho a presença dos metais Al, Fe, Ca, Mg e Si no lodo proveniente do tratamento de água.

No que diz respeito às análises de superfícies feitas para a maravalha pode-se verificar, por meio da imagem obtida por MEV (Figura 4a), uma considerável distribuição de tamanho de partícula, não

apresentando um formato e dimensão padronizada, ou seja, o resíduo de maravalha apresenta um perfil irregular, comprovando então os resultados obtidos no ensaio de granulometria mostrados anteriormente. Também se pode observar que as partículas se encontram com algumas fibras rompidas, este fato pode estar relacionado ao processamento da madeira. O mapeamento por EDS do resíduo de maravalha indicou a presença de C, N, O, Na, Si, P, conforme mostra a Figura 4b.

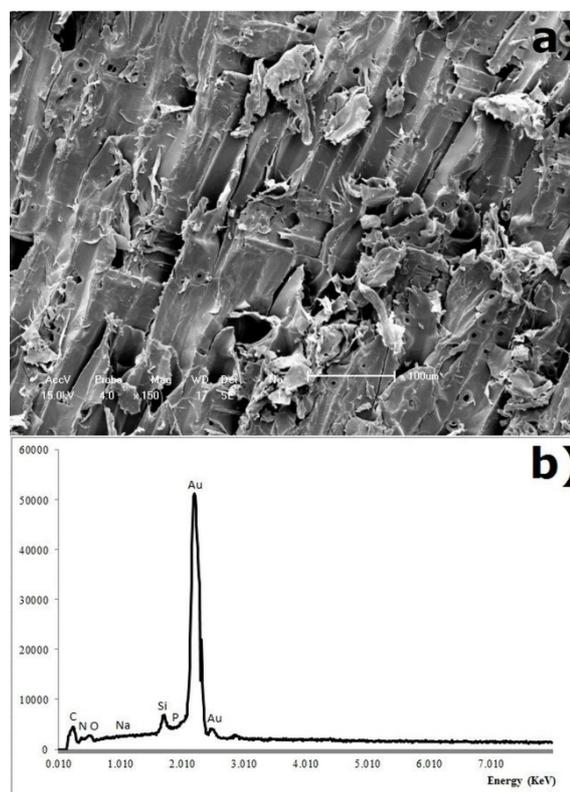


Figura 4 – a) Micrografia da partícula de madeira obtida por MEV b) Mapeamento da partícula de madeira por EDS

3.2. Análise nos painéis de madeira aglomerada

As médias dos resultados referentes às análises de densidade, teor de umidade, absorção de água (AA) para 2 e 24 horas e inchamento em espessura (IE) para 2 e 24 horas, são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Média das análises físicas realizadas nos aglomerados.

Tratamentos	% Lodo	% Resina	Densidade (kg m ⁻³)	Teor de umidade (%)	% IE 2h	% IE 24h	% AA 2h	% AA 24h
1	0	12	421,64 ^{cde}	14,35 ^{cd}	8,50 ^{bcd}	15,17 ^{bc}	84,72 ^c	113,49 ^d
2	5	12	392,89 ^{de}	14,05 ^{cd}	9,49 ^{cd}	15,38 ^{bc}	68,10 ^{abc}	104,37 ^{cd}
3	10	12	398,69 ^{de}	15,78 ^d	6,85 ^{abc}	12,30 ^{ab}	56,90 ^a	92,65 ^{bc}
4	20	12	514,37 ^a	11,39 ^a	11,15 ^f	17,42 ^c	71,50 ^{abc}	92,15 ^{bc}
5	30	12	381,75 ^{ef}	14,91 ^d	7,39 ^{abcd}	12,21 ^{ab}	79,30 ^{bc}	90,96 ^b
6	0	16	334,05 ^f	17,74 ^e	4,43 ^a	8,53 ^a	58,90 ^{ab}	82,85 ^{ab}
7	5	16	455,11 ^{bc}	14,35 ^{cd}	5,54 ^{ab}	12,45 ^b	63,36 ^{abc}	76,47 ^a
8	10	16	434,58 ^{bcd}	13,01 ^{bc}	10,66 ^{df}	15,66 ^{abc}	70,88 ^{abc}	91,88 ^{bc}
9	20	16	484,12 ^{ab}	12,50 ^{ab}	4,48 ^a	10,82 ^a	51,22 ^a	71,92 ^a
10	30	16	520,15 ^a	12,28 ^{ab}	7,02 ^{abcd}	9,75 ^a	57,83 ^a	76,76 ^a

(1) Dentro de uma mesma coluna, as médias seguidas por mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de nível de significância.

De acordo com a Tabela 3 pode-se observar que os valores de densidade ficaram abaixo do valor estabelecido neste trabalho (700 kg m⁻³), e também abaixo do valor estipulado pela norma ABNT NBR 14810-2 (2006) para que o painel de madeira aglomerada seja classificado como sendo de densidade média (551 kg m⁻³ a 750 kg m⁻³). O maior valor médio encontrado, foi de 520,15 kg m⁻³ para o tratamento 10, não sendo estatisticamente diferentes dos tratamentos 4 e 9. Portanto os painéis são classificados como sendo de baixa densidade. Após a retirada do painel da prensa quente e acondicionamento ocorreu um aumento da espessura do painel, com consequente aumento do volume e redução da densidade inicial desejada, diminuindo assim a densidade final do painel, o que pode ser explicado devido ao fato de que a distribuição da resina não ocorreu de forma homogênea, enfraquecendo a ligação entre as partículas.

Tendência semelhante de redução da densidade pré determinada foi observada por Bertolini et al. (2014) em seu estudo com rejeitos de *Pinus sp* tratado com preservante CCA e resina derivada de biomassa, onde obteve uma densidade entre 0,76 e 0,88 g cm⁻³, valores estes menores que a densidade predeterminada na produção de 0,91 g cm⁻³.

Em relação ao teor de umidade, a ABNT NBR 14810-2 (2006) estabelece que o teor não deve ser menor que 5% nem maior que 11%. Os valores de umidade obtidos para as chapas, conforme apresentado na Tabela 3, variaram muito, sendo o menor valor de 11,39% para o

tratamento 4 e o maior de 17,74% para o tratamento 6, sendo assim, nenhum dos tratamentos ficou dentro do estabelecido pela norma brasileira, no entanto em comparação com a norma europeia EN 312 (2003) os tratamentos 4, 9 e 10 ficam na faixa de umidade estipulada pela norma que estabelece um valor entre 5 e 13% para os painéis de madeira aglomerada.

No que se refere ao inchamento em espessura (IE), pode-se observar através dos dados apresentados, que a menor porcentagem média em IE para 2h e 24h foi o tratamento 6, na qual encontra-se o valor de 4,43% após 2h e 8,53% após 24h. A ABNT NBR 14810-2 (2006) estabelece um inchamento em espessura máximo de 8% após 2 horas, comparando o limite estabelecido pela norma com os valores obtidos neste estudo, pode-se observar que os tratamentos que se enquadram no limite são 3, 5, 6, 7, 9 e 10, esses tratamentos também se enquadram no limite estabelecido pela norma europeia EN 312 (2003) de 15% de IE após 24h, para um aglomerado tipo 4 de uso geral em condições secas.

Em relação às porcentagens médias obtidas para a absorção de água (AA), pode-se observar na Tabela 3 que o tratamento que obteve uma menor AA foi o tratamento 9, com 51,22% após 2h e 71,92% após 24h, e o que apresentou a maior porcentagem de AA foi o tratamento 1, com 82,43% após 2h e 113,49% após 24h. Porém o tratamento 9 não diferiu estatisticamente do tratamento 10 para a % AA após 2 e 24 horas.

Logo pode-se afirmar que o melhor tratamento encontrado foi o painel com incorporação de 30% de lodo de ETA e que foi usado a maior porcentagem de resina UF 16%, apresentando os melhores resultados encontrados para os painéis de madeira aglomerada em relação as suas características físicas.

4. CONCLUSÃO

A incorporação de lodo de ETA em painéis de madeira aglomerada é uma alternativa promissora de disposição final para este resíduo, desenvolvendo assim um subproduto e incentivando desta forma o desenvolvimento sustentável, colaborando com a sociedade e com o meio ambiente. Desenvolver uma alternativa de disposição final adequada para o lodo de ETA é de extrema importância pois é um resíduo que é gerado em grande quantidade no tratamento da água, e no Brasil o descarte inadequado deste resíduo ainda é uma prática comum.

Os painéis de madeira aglomerada com incorporação de lodo de ETA ainda estão com alguns parâmetros físicos fora dos limites estabelecidos pela ABNT NBR 14.810-2 (2006) para painéis de madeira aglomerada de média densidade, adequações no processo de fabricação podem ser tomadas para alcançar estes parâmetros. No entanto os painéis de baixa densidade obtidos neste trabalho podem ter algumas aplicações no mercado como o uso em isolamentos.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio financeiro, à SANEPAR pelo fornecimento do lodo de ETA, à Empresa RG Esquadrias, ao Departamento de Engenharia Química (DEQ) e ao Complexo de Centrais de Apoio à Pesquisa (COMCAP) da Universidade Estadual de Maringá, pelo auxílio no trabalho desenvolvido.

REFERÊNCIAS

ACDA, M. N., CABANGON, R. J. 2013. Termite resistance and physico-mechanical properties of particleboard using waste tobacco stalk and wood particles. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 85, 354-358.

ASHORI, A., NOURBAKHS, A. 2008. Effect of press cycle time and resin content on physical and mechanical properties of particleboard panels made from the underutilized low-quality raw materials. *Industrial Crops and Products*, 28, 225-230. 2008.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1984. ABNT NBR 7181: Solo – Análise Granulométrica – Procedimento. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2004. ABNT NBR 10.004: Resíduos sólidos. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2006. ABNT NBR 14.810-2: Chapas de madeira aglomerada. Parte 2: Requisitos. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2006. ABNT – NBR 14.810-3: Chapas de madeira aglomerada. Parte 3: Métodos de ensaio. Rio de Janeiro.

AYRILMIS, N., KWON, J. H., HAN, T. H. 2012. Effect of resin type and content on properties of composite particleboard made of a mixture of wood and rice husk. *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 38, 79–83.

BERTOLINI, M. S., NASCIMENTO, M. F., CHRISTOFOTO, A. L., LAHR, F. A. R. 2014. Painéis de partículas provenientes de rejeitos de *Pinus sp.* tratado com preservante CCA e resina derivada de biomassa. *Revista Árvore*, 38, 339-346.

BISWAS, D., BOSE, S. K., HOSSAIN, M. M. 2011. Physical and mechanical properties of urea formaldehyde-bonded particleboard made from bamboo waste.

- International Journal of Adhesion & Adhesives*, 31, 84–87.
- European Committee for Standardization. 2003. EN 312 Particleboard, specifications. Brussels.
- HEREK, L. C. S., HORI, C. E., REIS, M. H. M., MORA, N. D., TAVARES, C. R. G., BERGAMASCO, R. 2012. Characterization of ceramic bricks incorporated with textile laundry sludge. *Ceramics International*, 38, 951–959.
- KIZINIEVIC, O., ZURAUŠKIENE, R., KIZINIEVIC, V., ZURAUŠKAS, R. 2013. Utilisation of sludge waste from water treatment for ceramic products. *Construction and Building Materials*, 41, 464–473.
- LI, Z., JIANG, N., WU, F., ZHOU, Z. 2013. Experimental investigation of phosphorus adsorption capacity of the waterworks sludges from five cities in China. *Ecological Engineering*, 53, 165–172.
- MONTEIRO, S. N., ALEXANDRE, J., MARGEM, J. I., SÁNCHEZ, R., VIEIRA, C. F. N. 2008. Incorporation of sludge waste from water treatment plant into red ceramic. *Construction and Building Materials*, 22, 1281–1287.
- NAIR, A. T., AHAMMED, M. M. 2013. The reuse of water treatment sludge as a coagulant for post-treatment of UASB reactor treating urban wastewater. *Journal of Cleaner Production*, In Press.
- PIRAYESH, H., KHAZAEIAN, A., TABARSA, T. 2012. The potential for using walnut (*Juglans regia* L.) shell as a raw material for wood-based particleboard manufacturing. *Composites: Part B*, 43, 3276–3280.
- RODRÍGUEZ, N. H., RAMÍREZ, S. M., VARELA, M. T. B., GUILLEM, M., PUIG, J., LARROTCHA, E., FLORES, J. 2010. Re-use of drinking water treatment plant (DWTP) sludge: Characterization and technological behaviour of cement mortars with atomized sludge additions. *Cement and Concrete Research*, 40, 778–786.
- SILVA, M. J. D., BEZERRA, B. S., BATTISTELLE, R. A. G., VALARELLI, I. D. 2013. Prospects for the use of municipal tree pruning wastes in particleboard production. *Waste Management & Research*, 31, 960–965.
- WANG, D., SUN, X. S. 2002. Low density particleboard from wheat straw and corn pith. *Industrial Crops and Products*, 15, 43–50.
- YANG, Z., GAO, B., YUE, Q. 2010. Coagulation performance and residual aluminum speciation of Al₂(SO₄)₃ and polyaluminum chloride (PAC) in Yellow River water treatment. *Chemical Engineering Journal*. 165, 122–132.