

ESTUDO DA INCORPORAÇÃO DE LODO DE ETA EM PAINÉIS DE MADEIRA AGLOMERADA

C. A. da SILVA¹, A. A. da SILVA², B. de O. FREITAS³, N. R. da CRUZ¹, F. G. BORTOLOZZO¹,
L. C. S. H. REZENDE¹ e R. BERGAMASCO¹

¹ Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Engenharia Química, Engenharia de Produção e Engenharia Mecânica

² Universidade Estadual de Londrina, Departamento de Engenharia de Edificações e Saneamento

³ Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento de Engenharia Ambiental

E-mail para contato: rosangela@deq.uem.br

RESUMO – Atualmente vem-se buscando alternativas para reaproveitamento dos resíduos sólidos em virtude da grande quantidade gerada e dos danos causados devido à disposição final inadequada. Portanto este trabalho tem como principal objetivo estudar a incorporação do lodo gerado na ETA na confecção de painel de madeira aglomerada (MDP), com a finalidade de reaproveitamento tanto do lodo de ETA quanto da maravalha de Pinus, e deste modo propor uma alternativa de amenizar os riscos que ambos provocam ao meio ambiente. Para isso foram mantidos fixos os parâmetros de densidade (0,7 g.cm⁻³) e porcentagem de resina (20%) e variou-se os parâmetros de porcentagem de incorporação de lodo (0 e 20%), tempo (7 e 12 min) e temperatura de prensagem (110 e 160 °C). Após a confecção dos painéis foram realizados testes físicos de densidade, teor de umidade, absorção de água e inchamento em espessura, segundo a norma técnica Brasileira ABNT NBR 14.810-3 (2006), avaliando desta forma qual o melhor tratamento utilizado.

1. INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos tem gerado uma crescente preocupação, em nível mundial, devido ao grande volume que é gerado e, também, a dificuldade de sua destinação final. Estes resíduos podem gerar sérios problemas ambientais quando depositados de maneira inadequada, podendo assim causar a degradação do solo, contaminação tanto do lençol freático quanto de mananciais e, também, a contaminação do ar. (Vitorino *et al.*, 2009).

Hoje em dia a necessidade de se preservar o meio ambiente tem chamado à atenção tanto no meio acadêmico quanto industrial, para a valorização de processos que abranjam a reciclagem de resíduos poluentes. Pois o aproveitamento de resíduos colabora fortemente para a proteção ambiental e, por conseguinte, para o desenvolvimento sustentável. (Oliveira e Holanda, 2008).

Durante o processo de tratamento da água bruta é gerado um resíduo, o lodo, que é proveniente de duas etapas do processo: dos decantadores e da lavagem dos filtros. O resíduo oriundo da lavagem dos filtros contém um volume maior, porém em termos mássicos os decantadores possuem a maior

quantidade de resíduo. Pela ABNT NBR 10.004 (2004) o lodo é classificado como resíduo sólido, portanto deve ser tratado e disposto conforme exigência dos órgãos ambientais. A disposição final inadequada deste resíduo sólido vem sendo questionada por órgãos ambientais devido aos riscos ao meio ambiente. Este resíduo tem um grande potencial poluidor devido principalmente à alta concentração de metais pesados e de matéria orgânica, podendo causar então o acúmulo do alumínio e outros metais pesados, e a redução do oxigênio dissolvido nos cursos d'água.

Outro problema ambiental está relacionado à disposição final inadequada de resíduos de madeira, que são gerados em grandes quantidades pelas indústrias de base florestal, desde a exploração florestal até a manufatura do produto final. E de acordo com Souza (2010) em torno de 50% do volume original da tora tornam-se resíduos, e nem sempre este resíduo é utilizado, apesar de haver diversas alternativas de reciclagem.

A busca de novas alternativas de disposição final adequada e a reutilização destes resíduos, desenvolvendo materiais e propondo possíveis aplicações para estes resíduos, é de extrema importância para o equilíbrio ecológico e econômico do país.

Este presente trabalho tem por objetivo estudar a incorporação de lodo de ETA em painel de madeira aglomerada, como uma forma de disposição final do resíduo proveniente do tratamento da água bruta, lodo de ETA, bem como para a maravalha, resíduos proveniente do beneficiamento da madeira.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O lodo, resultante do processo de decantação durante o tratamento da água bruta na ETA, foi coletado na Estação de Tratamento de Água - SANEPAR da cidade de Arapongas – Pr, e seco a céu aberto sobre lonas plásticas, e em seguida moído em um moinho de rolo para uniformizar e reduzir o tamanho das partículas, totalizando 30 kg de resíduos coletados.

As partículas de madeira foram extraídas de resíduos proveniente dos cortes do beneficiamento da madeira Pinus, para fabricação de caixas de madeira e pallets, da empresa Cia de Pinus localizada em Londrina – Pr. Após a coleta das partículas, o resíduo foi triturado e armazenado em embalagens plásticas, resultando em 150 kg de partículas de madeira.

O experimento constituiu de 16 tratamentos, 3 repetições por tratamento, totalizando 48 painéis, conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1 – Delineamento experimental

| Trat. | Densidade (g.cm ⁻³) | % Resina | Granulometria | % Lodo | Tempo (min) | Temperatura (°C) |
|-------|------------------------------------|-------------|--|--------|----------------|---------------------|
| 1 | 0,7 | 20 | Partículas menores 0,08 mm < d < 2,0 mm | 0 | 7 | 110 |
| 2 | 0,7 | 20 | | 20 | 7 | 110 |
| 3 | 0,7 | 20 | | 0 | 12 | 110 |
| 4 | 0,7 | 20 | | 20 | 12 | 110 |
| 5 | 0,7 | 20 | | 0 | 7 | 160 |
| 6 | 0,7 | 20 | | 20 | 7 | 160 |
| 7 | 0,7 | 20 | | 0 | 12 | 160 |
| 8 | 0,7 | 20 | | 20 | 12 | 160 |
| 9 | 0,7 | 20 | Partículas maiores 0,08 mm < d < 9,5 mm | 0 | 7 | 110 |
| 10 | 0,7 | 20 | | 20 | 7 | 110 |
| 11 | 0,7 | 20 | | 0 | 12 | 110 |
| 12 | 0,7 | 20 | | 20 | 12 | 110 |
| 13 | 0,7 | 20 | | 0 | 7 | 160 |
| 14 | 0,7 | 20 | | 20 | 7 | 160 |
| 15 | 0,7 | 20 | | 0 | 12 | 160 |
| 16 | 0,7 | 20 | | 20 | 12 | 160 |

A composição dos materiais utilizados para a fabricação dos painéis foi calculada com base no peso seco das partículas (0% de umidade) e do tamanho do painel (55 x 55 x 1,5 cm). Utilizou-se 3% de solução de catalisador (25%) de sulfato de amônia (NH₄)₂SO₄ sobre a quantidade de resina de uréia-formaldeído UF na forma sólida. 0,08 < d < 2,00

A Tabela 2 apresenta a determinação das composições dos painéis de madeira aglomerada. Os painéis, em todos os tratamentos, são compostos de 723,68 g de resina de ureia-formaldeído (UF) na forma líquida, 57,32 g de catalisador de (NH₄)₂SO₄ em solução de 25% em água, 46,83 g de parafina na forma líquida e 2674,74 g de partículas de madeira e lodo variando de acordo com a porcentagem de incorporação em cada tratamento, os cálculos foram realizados segundo Weber (2011).

Tabela 2 – Quantidade de materiais utilizados na confecção dos painéis

| Painel | | | Partículas | | | | |
|--------|---------------------------|-----------|------------------------------|------|----------|---------|----------|
| Trat. | Volume (cm ³) | Massa (g) | Massa com 12% de umidade (g) | LODO | | MADEIRA | |
| | | | | (%) | Peso (g) | (%) | Peso (g) |
| 1 | 4537,50 | 3176,25 | 2674,74 | 0 | 0,00 | 100 | 2674,74 |
| 2 | 4537,50 | 3176,25 | 2674,74 | 20 | 534,95 | 80 | 2139,79 |
| 3 | 4537,50 | 3176,25 | 2674,74 | 0 | 0,00 | 100 | 2674,74 |
| 4 | 4537,50 | 3176,25 | 2674,74 | 20 | 534,95 | 80 | 2139,79 |
| 5 | 4537,50 | 3176,25 | 2674,74 | 0 | 0,00 | 100 | 2674,74 |
| 6 | 4537,50 | 3176,25 | 2674,74 | 20 | 534,95 | 80 | 2139,79 |
| 7 | 4537,50 | 3176,25 | 2674,74 | 0 | 0,00 | 100 | 2674,74 |
| 8 | 4537,50 | 3176,25 | 2674,74 | 20 | 534,95 | 80 | 2139,79 |
| 9 | 4537,50 | 3176,25 | 2674,74 | 0 | 0,00 | 100 | 2674,74 |
| 10 | 4537,50 | 3176,25 | 2674,74 | 20 | 534,95 | 80 | 2139,79 |
| 11 | 4537,50 | 3176,25 | 2674,74 | 0 | 0,00 | 100 | 2674,74 |
| 12 | 4537,50 | 3176,25 | 2674,74 | 20 | 534,95 | 80 | 2139,79 |
| 13 | 4537,50 | 3176,25 | 2674,74 | 0 | 0,00 | 100 | 2674,74 |
| 14 | 4537,50 | 3176,25 | 2674,74 | 20 | 534,95 | 80 | 2139,79 |
| 15 | 4537,50 | 3176,25 | 2674,74 | 0 | 0,00 | 100 | 2674,74 |
| 16 | 4537,50 | 3176,25 | 2674,74 | 20 | 534,95 | 80 | 2139,79 |

Após foi feita a pesagem dos materiais conforme mostra a Tabela 2, realizou-se a mistura manualmente e em seguida foi formado um colchão de partículas com a mistura.

Para delimitar a espessura do painel, o colchão de partículas foi montado sobre um molde de metal nas mesmas dimensões do painel e com uma espessura de 15 mm. Em seguida, o colchão de partículas foi pré prensado. O colchão foi prensado a quente em prensa da marca INVICTA, com uma pressão de aproximadamente 50 kgf/cm², nas respectivas temperaturas e tempo de prensagem mostrados na Tabela 1 para cada tratamento. Após a prensagem os painéis foram mantidos a temperatura ambiente para atingirem a cura.

Após a etapa de produção, os painéis foram esquadrejados para a realização dos testes físicos de teor e umidade, densidade, absorção de água e inchamento em espessura, segundo a norma técnica Brasileira ABNT NBR 14810-3 (2006).

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 nos parâmetros avaliados, através do programa estatístico STATSOFT STATISTICA versão 8.0.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

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

Tabela 3 – Resultado das análises físicas do painel de madeira aglomerada

| Trat. | Densidade (kg/m ³) | Teor de umidade (%) | IE (%) após 2 horas | IE (%) após 24 horas | AA (%) após 2 horas | AA (%) após 24 horas |
|-------|--------------------------------|--------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|
| 1 | 382,59 ^f | 16,71 ^{e,f} | 8,82 ^{c,d,e} | 10,96 ^{c,d,e} | 72,19 ^{e,f} | 85,61 ^{f,g} |
| 2 | 387,94 ^{e,f} | 15,75 ^{d,e} | 6,74 ^{b,c,d,f} | 10,31 ^{b,c,d} | 78,56 ^{e,f} | 82,66 ^{e,f} |
| 3 | 382,46 ^f | 13,43 ^{a,b,c} | 13,69 ^{f,g} | 17,47 ^f | 87,78 ^f | 98,40 ^{g,h} |
| 4 | 388,90 ^{e,f} | 14,40 ^{a,b,c,d} | 9,89 ^{d,e} | 14,26 ^{d,e,f} | 75,17 ^{e,f} | 83,91 ^{e,f} |
| 5 | 379,62 ^f | 14,70 ^{b,c,d,e} | 4,19 ^{a,b} | 7,63 ^{a,b} | 51,15 ^{b,c} | 83,87 ^{e,f} |
| 6 | 506,81 ^a | 13,53 ^{a,b,c} | 3,14 ^a | 6,04 ^{a,b} | 42,04 ^b | 60,26 ^{a,b} |
| 7 | 433,67 ^{c,d} | 15,54 ^{c,d,e} | 3,77 ^{a,b} | 6,72 ^{a,b} | 24,32 ^a | 54,76 ^a |
| 8 | 497,93 ^{a,b} | 15,31 ^{c,d,e} | 4,70 ^{a,b,c} | 6,44 ^{a,b} | 42,58 ^b | 59,80 ^{a,b} |
| 9 | 362,70 ^f | 18,51 ^f | 12,33 ^{e,f} | 25,73 ^g | 54,34 ^{b,c} | 97,33 ^g |
| 10 | 503,00 ^{a,b} | 18,66 ^f | 4,99 ^{a,b,c} | 8,25 ^{a,b} | 53,61 ^{b,c,d} | 68,23 ^{b,c,d} |
| 11 | 451,09 ^c | 15,54 ^{c,d,e} | 14,66 ^g | 23,41 ^g | 70,41 ^{e,f} | 106,20 ^h |
| 12 | 461,02 ^{b,c} | 15,56 ^{c,d,e} | 5,04 ^{a,b,c} | 8,22 ^{a,b} | 67,04 ^{c,d,e} | 75,41 ^{c,d,e} |
| 13 | 395,65 ^{d,e,f} | 15,17 ^{c,d,e} | 4,85 ^{a,b,c} | 6,36 ^{a,b} | 67,82 ^{c,d,e} | 75,99 ^{c,d,e} |
| 14 | 438,25 ^{c,d} | 13,92 ^{a,b,c,d} | 4,49 ^{a,b} | 4,39 ^a | 70,26 ^{d,e,f} | 65,67 ^{a,b,c,d} |
| 15 | 426,18 ^{c,d,e} | 12,99 ^{a,b} | 11,85 ^{e,f} | 16,90 ^{e,f} | 52,39 ^{b,c} | 76,91 ^{d,e,f} |
| 16 | 511,21 ^a | 12,50 ^a | 7,56 ^{b,c,d} | 8,54 ^{a,b,c} | 52,92 ^{b,c} | 64,87 ^{a,b,c} |

(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 pela norma ABNT NBR 14810-2 (2006) para classificar uma chapa de madeira aglomerada como sendo de densidade média, em que este valor de densidade varia entre 551 kg.m⁻³ a 750 kg.m⁻³, tendo em vista o maior valor médio encontrado, ou seja o que mais se aproximou do esperado, foi de 511,21 kg.m⁻³ para o tratamento 16, não sendo diferente estatisticamente do tratamento 6. Isso mostra que os testes físicos não foram suficientes para analisar os painéis, portanto ainda será realizada análises químicas e mecânicas para verificar o que ocorreu durante o processo de fabricação que possa explicar esta diferença de densidade.

Também pode-se observar que em todos os tratamentos realizados, aqueles que tiveram a incorporação de 20% de lodo de ETA apresentaram um valor de densidade maior em comparação com os painéis sem lodo sob as mesmas condições de confecção, como tempo e temperatura de prensagem.

Em relação do 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 12,50% para o tratamento 16 e o maior de 18,66% para o tratamento 10, nenhum dos tratamentos ficou dentro do estabelecido pela norma. Tal acontecimento pode ser explicado pelo fato dos materiais, partícula de madeira e lodo, apresentarem umidade superior ao exigido antes do processo de fabricação, e também pelo fato de que não foi possível deixar as chapas em uma câmara climatizada, com controle de umidade e temperatura, para a devida estabilização após a sua fabricação.

No que se refere ao inchamento em espessura (IE), pode-se observar através dos dados apresentados, a menor porcentagem média em IE para 2h e 24h foi o tratamento 6, na qual encontra-se o valor de 3,14% após 2h e 6,04% após 24h. Enquanto que o maior valor médio foi de 14,66% após 2h e 23,61 % após 24h para o tratamento 11.

A ABNT NBR 14810-2 (2006) estabelece um inchamento em espessura (IE) 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 apresentam dentro dos parâmetros estabelecidos pela normativa são 2, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 13, 14 e 16.

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 7, com 24,32% após 2h e 54,36% após 24h, e o que apresentou a maior porcentagem de AA foi o tratamento 3, com 87,78% após 2h e o tratamento 11 com 106,50% após 24h. Apesar da normativa não trazer um limite para este parâmetro, os resultados encontrados estão de acordo com os apresentados em literatura, para incorporação de diferentes tipos de resíduos nos painéis, Brito *et al.* (2006), Lima *et al.* (2006), Colli *et al.* (2010).

4. CONCLUSÃO

O trabalho terá continuidade com relação à parâmetros químicos e mecânicos nos painéis, que provavelmente explicarão a discrepância dos resultados apresentados nas análises físicas de densidade, teor de umidade, absorção de água e inchamento em espessura.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio financeiro, à SANEPAR pelo fornecimento do lodo de ETA, à Empresa Madeireira Ibiporã por ter emprestado a prensa para a realização do experimento, ao Departamento de Engenharia Química (DEQ) da Universidade Estadual de Maringá, pelo auxílio no trabalho desenvolvido.

6. REFERÊNCIAS

ABNT NBR 10.004. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Resíduos sólidos – Classificação. 2ª Ed. 2004.

ABNT – NBR 14.810-2. Chapas de madeira aglomerada. Parte 2: Requisitos. Rio de Janeiro, 2006.

ABNT – NBR 14.810-3. Chapas de madeira aglomerada. Parte 3: Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2006.

BRITO, E. O.; SAMPAIO, L. C.; OLIVEIRA, J. N.; BATISTA, D. C. Chapas de madeira aglomerada utilizando partículas oriundas de madeira maciça e de maravalhas. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, n. 72, p. 17-21, dezembro 2006.

COLLI, A.; VITAL, E. R.; CARNEIRO, A. C. O.; SILVA, J. C.; CARVALHO, A. M. M. L.; DELLA LUCIA, R. M. Propriedades de chapas fabricadas com partículas de madeira de paricá (*Schyzolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) e fibras de coco (*Cocos nucifera* L.). *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v. 34, p. 333-338, 2010.

LIMA, A. M.; VIDAURRE, G. B.; LIMA, R. M.; BRITO, E. O. Utilização de fibras (epicarpo) de babaçu como matéria-prima alternativa na produção de chapas de madeira aglomerada. *Revista Árvore*, Viçosa – MG, v.30, p. 645-650, 2006.

OLIVEIRA, E. M. S.; HOLANDA, J. M. F. Influência da adição de resíduo (lodo) de estação de tratamento de águas nas propriedades e microestrutura de cerâmica vermelha. *Revista Cerâmica*, v. 54, p. 167-173. 2008.

SOUZA, F. R. Compósito de lodo de estação de tratamento de água e serragem de madeira para uso como agregado graúdo em concreto. Tese de Doutorado – Universidade de São Paulo. São Carlos – SP, 2010.

VITORINO, J. P. D.; MONTEIRO, S. N.; VIEIRA, C. M. F. Caracterização e incorporação de resíduos provenientes de Estação de Tratamento de Água em cerâmica argilosa. *Cerâmica*, v. 55, p. 385-392. 2009.

WEBER, C. Estudo sobre viabilidade de uso de resíduos de compensados, MDF e MDP para produção de painéis aglomerados. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Paraná (UFPR). Curitiba – PR. 2011.