

AValiação DO ENCAPSULAMENTO DO LODO DE ETA EM MATRIZES CIMENTÍCIAS POR MEIO DA ANÁLISE DOS EXTRATOS LIXIVIADOS

A. Sales, F. R. Souza, F. C. R. Almeida e A. M. Zimer

RESUMO

As estações de tratamento de água (ETA) para abastecimento público transformam a água bruta, inadequada para o consumo humano em água potável e, do processo de tratamento aplicado, geram o resíduo sólido denominado lodo de ETA. A disposição irregular deste resíduo prejudica o ambiente ao provocar a redução do oxigênio dissolvido e o aumento da concentração de metais nos cursos d'água receptores. Este trabalho trata da avaliação do encapsulamento do lodo de ETA em matrizes cimentícias e da sua eficácia em termos da redução do risco potencial ao ambiente e a saúde pública. O resíduo de ETA e o concreto contendo o compósito com o lodo encapsulado foram classificados de acordo com os procedimentos definidos pela norma NBR 10004. Os resultados obtidos permitiram concluir que a reciclagem do lodo de ETA por meio do encapsulamento na forma de compósito ao concreto pode reduzir o risco potencial ao ambiente.

1 INTRODUÇÃO

As estações de tratamento de água para abastecimento público transformam a água bruta, inadequada para o consumo humano em água potável e, do processo de tratamento aplicado, gera o resíduo sólido denominado lodo de estação de tratamento de água.

O lodo de estação de tratamento de água é um resíduo composto por matéria orgânica e inorgânica no estado sólido, líquido e gasoso que tem uma composição variável com relação a suas características físicas, químicas e biológicas (Bourgeois *et al.*, 2004).

Embora atualmente já existam diversas alternativas para reciclar o lodo de estação de tratamento de água, no Brasil existem aproximadamente 7.500 estações de tratamento de água que lançam os resíduos produzidos nos mesmos córregos e rios de onde é retirada a água para o tratamento (Cordeiro, 2001).

Entre as alterações prejudiciais ao meio ambiente causadas pela disposição irregular deste resíduo estão a redução do oxigênio dissolvido e o aumento da concentração de alumínio e outros metais nos cursos d'água receptores.

Entre as possíveis alternativas de reciclagem atualmente existentes para o lodo de estação de tratamento de água destacam-se: a recuperação do alumínio presente no lodo e a utilização do mesmo no tratamento de efluentes domésticos, o espargimento do lodo no solo para fins agrícolas e a recuperação de áreas degradadas, a aplicação do lodo na produção de solo-cimento, pigmentos de argamassa, materiais cerâmicos e concretos.

Assim como o lodo de estação de tratamento de água, os resíduos de madeira também são dispostos irregularmente no meio-ambiente, principalmente nos países em desenvolvimento como o Brasil. As indústrias de base florestal geram grande quantidade deste resíduo desde a exploração florestal até a manufatura de seus produtos finais. Aproximadamente 50% do volume original das toras tornam-se resíduos e, apesar da existência de diversas alternativas de reciclagem, nem sempre elas são utilizadas.

Entre as possíveis alternativas de reciclagem para os resíduos de madeira estão a fabricação de painéis de madeira compensada, a queima para a produção de energia e a utilização destes resíduos como fibras na produção de concretos com potencial de isolamento térmica e acústica.

Além da deposição irregular de resíduos, outro problema ambiental está relacionado à extração de matérias primas. O consumo de materiais naturais está crescendo na mesma proporção do crescimento da economia e da população. Entre 1970 e 1995, o consumo de materiais no mundo cresceu de 5,7 bilhões de toneladas para 9,5 bilhões de toneladas. Devido a este crescimento, as reservas de muitos materiais começam a ficar escassas, especialmente nas grandes cidades onde já é necessário extrair algumas matérias primas a distâncias cada vez maiores (Matos e Wagner, 1999). O preço da pedra britada para uso como agregado graúdo em concreto subiu nos últimos anos mais do que os do cimento.

Buscar o desenvolvimento de materiais a base de resíduos, a caracterização e a proposição de possíveis aplicações para os mesmos é de extrema importância para o equilíbrio econômico e ecológico de um país. Todavia, existe a necessidade de verificar se estes resíduos encontram-se encapsulados de modo a mitigar possíveis contaminações resultantes da simples disposição destes no ambiente.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a potencialidade do encapsulamento do lodo de ETA e da serragem de madeira em matrizes cimentícias e, verificar por meio da análise dos extratos lixiviados se é possível retornar os contaminantes destes resíduos de forma menos concentrada ao meio ambiente.

2 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Neste item são apresentados os materiais e procedimentos experimentais utilizados no desenvolvimento da presente pesquisa.

2.1 Os materiais utilizados

O lodo utilizado no desenvolvimento e produção do compósito foi coletado na Estação de Tratamento de Água de São Carlos / São Paulo / Brasil, no dia de limpeza de um dos tanques de decantação.

A Estação de Tratamento de Água de São Carlos trata atualmente seiscentos litros por segundo de água bruta em um sistema tradicional composto pelas etapas de coagulação, floculação, sedimentação e filtração e caracteriza-se por utilizar sulfato de alumínio como coagulante das partículas presentes na água.

A limpeza de cada tanque de decantação é trimestral e dura aproximadamente 4 horas. Neste período, os funcionários entram no interior do tanque de decantação com jatos de

água já tratada para forçar o escoamento do lodo pelas adubas presentes no fundo do tanque de decantação. Este procedimento de limpeza desperdiça uma grande quantidade de água já tratada (Figura 1).



Fig. 1 Procedimento de limpeza dos tanques de decantação para remoção do lodo

As características físico-químicas do lodo utilizado na produção do compósito para posterior encapsulamento em matrizes cimentícias estão apresentadas na Tabela 1. Salienta-se que a elevada concentração de alumínio pode ser atribuída à utilização de sulfato de alumínio no processo de tratamento de água na ETA de São Carlos

Tabela 1 Características físico-químicas do lodo coletado na estação de tratamento de água de São Carlos/São Paulo/Brasil

Características	Valores em mg/L
Sólidos Totais	58.630
Sólidos Suspensos	26.520
Sólidos Dissolvidos	32.110
Alumínio	11.100
Ferro	5.000
Chumbo	1,60

A coleta do lodo foi realizada durante o processo de limpeza. O lodo coletado foi seco à temperatura ambiente e posteriormente seco em estufa a temperatura de $105 \pm 05^{\circ}\text{C}$ (Figura 2). Após a secagem, o lodo foi moído em um moedor de agregados miúdos até que seus grãos atingissem dimensão máxima característica de 0,6 mm.



Fig. 2 Fase sólida do lodo após secagem em estufa a temperatura de $105 \pm 05 \text{ }^\circ\text{C}$

A serragem de madeira utilizada no desenvolvimento e produção do compósito foi coletada no pátio do Laboratório de Madeira e Estruturas de Madeira da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

A serragem coletada e utilizada nesta pesquisa foi da espécie Pinus (Figura 3), pelo fato desta madeira ser bastante utilizada tanto na indústria de construção civil como na indústria de produção mobiliária. Devido a sua estrutura anatômica a madeira desta espécie é bastante leve e apresenta comprimento de fibras regulares, além de grande absorção de água.



Fig. 3 Serragem de madeira da espécie Pinus utilizada no desenvolvimento e produção do compósito

Outro material utilizado no desenvolvimento e produção do compósito foi o óleo de linhaça cozido. A linhaça, também chamada “*flaxseed*”, é uma variedade da conhecida “*flax*”, *linum usitatissimum*, que pode ser utilizada tanto para a produção de óleos industriais como para a produção de complemento alimentar. O óleo de linhaça cozido é um dos produtos derivados da industrialização da linhaça em grão. Após a obtenção do

óleo bruto, este passa por um processo de fervura onde é adicionado um secante para agilizar o processo de secagem ao ar quando este é aplicado sobre superfícies. O óleo de linhaça cozido apresenta cor amarelo-dourado, marrom ou âmbar e é comumente aplicado em madeiras e seus derivados para a proteção, impermeabilização e realce das cores naturais.

O aglomerante hidráulico utilizado foi o Cimento Portland de Alta Resistência Inicial que atendeu às normas brasileiras.

Os agregados naturais utilizados foram respectivamente a areia grossa quartzosa do Rio Mogi-Guaçu e a pedra britada basáltica do tipo 1.

2.2 A produção do compósito com lodo de ETA e serragem de madeira

O lodo seco e moído foi misturado com água e serragem de madeira e modelado manualmente na forma de pelotas esféricas de 14 ± 2 mm de diâmetro (Figura 4).

A relação dos materiais serragem de madeira:lodo:água foi de 100:600:450 em massa. A menor quantidade de água necessária para a produção de uma mistura de boa trabalhabilidade foi considerada a ideal.

Quanto maior a força e a pressão manual utilizada durante o amassamento e a modelagem da mistura, maior a resistência mecânica, a resistência à abrasão e o peso específico do agregado.

As pelotas foram previamente secas à temperatura ambiente e completamente secas em estufa a temperatura de 105 ± 05 °C. As pelotas secas foram imersas em óleo de linhaça cozido por um minuto, sendo este tempo considerado suficiente para estabilizar a resistência, diminuir a absorção de água e evitar o desmanche dos grãos durante o preparo e aplicação do concreto.



Fig. 4 O compósito com lodo de ETA e serragem de madeira

Após a aplicação do óleo, as pelotas secas à temperatura ambiente foram misturadas ao concreto, juntamente com os demais constituintes básicos da mistura.

2.3 O encapsulamento do compósito com lodo de ETA em matrizes cimentícias

O concreto com o compósito foi produzido com substituição total da pedra britada. A relação entre os materiais foi determinada com base na consistência e trabalhabilidade do concreto.

A produção do concreto foi realizada de forma diferente da convencional. Os materiais foram misturados e amassados em betoneira, entretanto, os grãos do compósito somente foram aplicados após o preparo da argamassa.

O concreto foi produzido com relação entre os materiais cimento:areia:compósito:água em massa de 100:250:67:60.

Na Figura 5 pode ser observado o corpo de prova do concreto produzido com o compósito a base de lodo e serragem de madeira, após ruptura provocada por ensaio de resistência à compressão axial.



Fig 5 Corpo de prova após ruptura por compressão axial do concreto produzido com o compósito com lodo de ETA e serragem de madeira.

A ruptura do concreto assim produzido permitiu observar que os grãos do compósito seguiram a mesma linha de rompimento, confirmando a aderência destes à argamassa, o que denota que a matriz cimentícia com o lodo encapsulado apresenta propriedades de mistura compatíveis para diversos usos relacionados a enchimento na construção civil (Souza *et al.*, 2008).

2.4 Análise do extrato lixiviado dos resíduos encapsulados em matrizes cimentícias

A avaliação do encapsulamento do lodo de ETA em matrizes cimentícias foi realizada a partir da comparação da classificação do resíduo do concreto contendo o compósito com a classificação do resíduo do concreto convencional utilizado como referência.

Para tanto, uma amostra do concreto produzido com o compósito foi coletada e triturada até que suas partículas passassem na peneira de malha de 9,5 mm; condição que, de acordo com a NBR 10005:2004, a amostra se apresenta pronta para a etapa de extração.

A seguir foi escolhida a solução de extração a ser utilizada no processo de lixiviação. Para tanto, foram colocados em um béquer 5,0 g da amostra triturada e 96,5 mL de água deionizada. Cobriu-se o béquer com um vidro de relógio e agitou-se a mistura vigorosamente por cinco minutos com um agitador magnético e mediu-se o pH da mistura. Se o valor do potencial hidrogeniônico da mistura fosse menor do que 5,0, seria utilizada a solução de extração número “1”: uma solução com pH de $4,93 \pm 0,05$ composta por 5,7 mL de ácido acético glacial, 64,3 mL + NaOH 1,0 M e água destilada, deionizada e isenta de orgânicos até o volume de 1L. Se o valor do pH da mistura fosse maior do que 5,0, seria adicionada à mistura 3,5 mL de HCl 1,0 M, a mesma seria homogeneizada, coberta com vidro de relógio, aquecida a 50 °C durante dez minutos, esfriada e teria o seu pH medido novamente. Se o valor do pH desta nova solução fosse menor ou igual 5,0, seria utilizada a solução de extração número “1”. Caso contrário, utilizar-se-ia a solução de extração número “2”: uma solução com pH de $2,88 \pm 0,05$ composta por 5,7 mL de ácido acético glacial, água destilada, deionizada e isenta de orgânicos até completar 1L.

O procedimento descrito foi realizado e a solução de extração escolhida foi a solução de extração número “2”. Determinada a solução de extração, transferiu-se $100 \pm 0,1$ g da amostra para um frasco de lixiviação de material inerte. Adicionou-se ao frasco a quantidade de solução de extração equivalente a vinte vezes a massa da amostra, fechou-se o frasco utilizando fita de politetrafluoretileno para evitar vazamento e agitou-se o frasco por 18 ± 2 h à uma temperatura de 25 °C usando um agitador rotatório com rotação de 30 ± 02 rpm. A solução obtida foi filtrada com membrana filtrante de 0,20 µm de porosidade, teve seu pH determinado e foi definida como o extrato lixiviado do resíduo. Na Figura 6 pode ser observado o aparato utilizado na filtração da solução.



Fig 6 Aparato utilizado na filtração da solução de extração

O mesmo procedimento foi realizado para a obtenção do extrato lixiviado do concreto convencional referência, com a diferença de que a solução de extração escolhida foi a número “1”.

2.5 Análise do extrato solubilizado dos resíduos encapsulados em matrizes cimentícias

Inicialmente uma amostra do concreto produzido com o compósito foi coletada e triturada até que suas partículas passassem na peneira de malha de 9,5 mm. Uma amostra do concreto produzido com o compósito na forma de partículas com dimensões menores que 9,5 mm pode ser observada na Figura 7.



Fig 7 Amostra do concreto produzido com o compósito na forma de partículas com dimensões menores que 9,5 mm.

A amostra passada na peneira de malha 9,5 mm foi seca em estufa a temperatura de 42 °C e, a seguir, colocada a quantia representativa de 250 g em um frasco de 1.500 mL. Ao frasco de 1.500 mL contendo 250 g da amostra do resíduo adicionou-se 1.000 mL de água destilada, deionizada e isenta de orgânicos. O frasco foi agitado manualmente em baixa velocidade por cinco minutos, coberto com filme de PVC e deixado em repouso por sete dias em temperatura até 25 °C. Após sete dias em repouso, a solução foi filtrada com membrana filtrante de 0,20 µm de porosidade, teve seu pH medido e foi definida como o extrato solubilizado do resíduo. O mesmo procedimento foi realizado para a obtenção do extrato solubilizado do concreto convencional produzido como referência.

2.6 Determinação da concentração de metais nos extratos lixiviados e solubilizados dos concretos em estudo e classificação dos resíduos

Alíquotas dos extratos lixiviados e solubilizados dos concretos em estudo foram retiradas e a concentração dos metais (alumínio, ferro e chumbo) foi determinada em espectrômetro de emissão óptica com plasma induzido, modelo VISTA, da marca Varian.

A classificação dos resíduos foi realizada comparando a concentração dos metais nos extratos lixiviados com os valores limites máximos fixados no anexo F da NBR 10004:2004 e, comparando a concentração dos metais nos extratos solubilizados com os valores limites máximos fixados no anexo G desta mesma norma.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da experimentação realizada foi possível obter os valores das concentrações de metais nos extratos lixiviados e solubilizados para o concreto contendo o lodo de ETA encapsulado e também para o concreto convencional produzido sem a adição deste resíduo (concreto convencional referência).

Na Tabela 2 estão apresentados os valores da concentração dos metais (alumínio, ferro e chumbo) nos extratos solubilizados e lixiviados dos concretos em estudo e os limites estabelecidos pela NBR 10004:2004.

Tabela 2 Concentração de metais nos extratos solubilizados e lixiviados dos concretos em estudo e limites estabelecidos pela NBR 10004:2004

Concreto	Extrato	Alumínio (mg/L)		Ferro (mg/L)		Chumbo (mg/L)	
		No Extrato	Limite NBR 10004	No Extrato	Limite NBR 10004	No Extrato	Limite NBR 10004
Produzido com o compósito	Lixiviado	0,14	-	0,03	-	<0,01	1,0
	Solubilizado	19,96	0,2	0,004	0,3	<0,01	0,01
Convencional Referência	Lixiviado	< 0,02	-	<0,004	-	<0,01	1,0
	Solubilizado	1,12	0,2	0,009	0,3	<0,01	0,01

O resíduo do concreto produzido com o compósito contendo lodo de ETA, assim como o resíduo do concreto convencional produzido como referência (sem lodo) foram classificados pela NBR 10004:2004 como resíduos sólidos não perigosos e não inertes. A concentração de alumínio é maior no resíduo do concreto produzido com o compósito contendo lodo do que no resíduo do concreto referência (sem lodo). No extrato solubilizado do concreto referência a concentração de alumínio é igual a 1,12 mg/L, enquanto no extrato solubilizado do concreto produzido com o compósito a concentração deste metal é igual a 19,96 mg/L.

A concentração de alumínio no extrato solubilizado do concreto produzido com o compósito (19,96 mg/L) é maior do que a concentração de alumínio no extrato solubilizado do concreto convencional (1,12 mg/L) devido à elevada concentração de alumínio no lodo de estação de tratamento de água (11.100 mg/L, Tabela 1). O compósito foi produzido com o lodo da estação de tratamento de água de São Carlos, que usa sulfato de alumínio como um coagulante no tratamento da água. Os valores da concentração de ferro e chumbo encontrados para ambos os concretos (com e sem lodo) estão dentro dos limites estabelecidos pela NBR 10004:2004.

Todavia, o valor encontrado para a concentração de alumínio no extrato solubilizado do concreto com lodo encapsulado é cerca de 550 vezes inferior ao valor da concentração de alumínio no lodo. Considerando que usualmente este lodo é lançado diretamente nos córregos e rios, esta alternativa de encapsulamento é viável considerando a enorme redução da concentração do alumínio, e conseqüente mitigação do impacto ambiental da disposição deste metal no meio ambiente.

4 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos por esta pesquisa, pode-se concluir que:

- i. O resíduo do concreto produzido com o compósito contendo lodo de ETA, assim como o resíduo do concreto convencional produzido como referência (sem lodo) podem ser classificados pela NBR 10004:2004 como resíduos sólidos não perigosos e não inertes;
- ii. Os valores da concentração de ferro e chumbo encontrados para ambos os concretos (com e sem lodo) estão dentro dos limites estabelecidos pela NBR 10004:2004;
- iii. A concentração de alumínio no extrato solubilizado do concreto produzido com o compósito (19,96 mg/L) é maior do que a concentração de alumínio no extrato solubilizado do concreto convencional (1,12 mg/L) devido à elevada concentração de alumínio no lodo de estação de tratamento de água (11.100 mg/L).

Portanto, a redução da concentração de alumínio no encapsulamento do lodo em matrizes cimentícias indica que esta alternativa é viável para a mitigação ambiental do descarte deste resíduo no ambiente. O concreto produzido com o compósito de lodo de estação de tratamento de água e serragem de madeira pode ser usado em construções e edificações para reduzir a degradação ambiental causada pela deposição irregular destes resíduos nos córregos e rios e, além disso, poderá reduzir a necessidade de extração de pedra britada natural de pedreiras, as quais também são consideradas um problema ambiental no Brasil.

5 REFERÊNCIAS

- Bourgeois, J. C.; Walsh, M. E.; Gagnon, G. A. (2004) Treatment of drinking water residuals: comparing sedimentation and dissolved air flotation performance with optimal cation ratios. **Water Research**, 38(5), 1173-1182.
- Cordeiro, J. S. (2001) Processamento de lodos de Estações de Tratamento de Água (ETAs). In: ANDREOLI, C. V. **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Rio de Janeiro: RIMA - ABES, 2001. cap. 5, 121-142.
- Matos, G. e Wagner, L. (1999) **Consumption of materials in the United States 1900 – 1995**. US Geological Survey, 9p.
- NBR 10004 (2004). **Resíduos sólidos** – Classificação. Rio de Janeiro, 77 p.
- Souza, F. R.; Sales, A.; Almeida, F. C. R. (2008) Concreto reciclado produzido com agregado graúdo desenvolvido a base de lodo de ETA e serragem de madeira, **Anais do 50º Congresso Brasileiro do Concreto - IBRACON**, Salvador, 4-7 Setembro 2008.