

APLICAÇÃO DE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA PARA A PRODUÇÃO DE CERÂMICA ARTÍSTICA

J. C. Pozzobon, M. A. Maran, J. F. R. Lucas, N. Díaz Mora
Av. Tarquinio Joslin do Santos, 1300, Foz do Iguaçu - PR - CEP: 85870-900
e-mail: jocapozzo@hotmail.com
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Laboratório de Materiais

RESUMO

O processo convencional de tratamento de água para consumo humano gera como resíduo um lodo com alto teor de umidade. Diante da necessidade de melhor gerenciar a disposição final desse material, buscando uma solução técnica e ambientalmente vantajosa, propôs-se, neste trabalho, investigar sua incorporação à massa cerâmica para a confecção de peças artísticas, em substituição parcial à argila normalmente usada. Para tanto, utilizou-se lodo proveniente da ETA Tamanduá - Foz do Iguaçu/PR e uma mistura industrializada de argila com chamote usada por artesãos da região. Preparou-se massas cerâmicas contendo 12% e 15% de lodo com as quais foram modeladas peças posteriormente queimadas à 1100 °C, por 7 h. As peças confeccionadas foram submetidas aos ensaios de porosidade aparente, absorção de água, contração linear, resistência à compressão, lixiviação e avaliação visual. Analisando os resultados, constatou-se que é possível utilizar satisfatoriamente o lodo de ETA na produção de artefatos decorativos.

Palavras-chave: tratamento de água, aproveitamento de resíduo, artesanato.

INTRODUÇÃO

O processo convencional utilizado para o tratamento de água, empregado na maioria dos sistemas de abastecimento para o consumo humano, gera um lodo decantado com um alto teor de umidade ⁽¹⁾. Esse resíduo de estações de tratamento de água (ETA) usualmente é destinado aos aterros sanitários, contribuindo para a redução da vida útil destes, tornando-se, portanto, um inconveniente ambiental ⁽²⁾.

Diante da necessidade de melhor gerenciar a disposição final do lodo de ETA, diversos trabalhos vêm sendo desenvolvidos na busca por soluções técnica e ambientalmente vantajosas. Algumas alternativas implicam em despejo do lodo na rede coletora de esgoto, incineração, aplicação do lodo no solo, incorporação em matriz cerâmica ⁽³⁾ e em matriz de concreto ⁽⁴⁾.

Neste trabalho, propõe-se como possível destinação do lodo de ETA sua incorporação à massa cerâmica para a confecção de peças artísticas decorativas e utilitárias, em substituição parcial à argila normalmente usada. Esta alternativa mostra-se bastante interessante devido ao aproveitamento do resíduo em um processo produtivo localmente pré-existente, com possível redução de custos de produção e de extração de recursos naturais, minimizando o potencial de riscos ambientais causados pela disposição inadequada do resíduo.

Para validar esta proposta, investigou-se se as propriedades físicas de peças confeccionadas com a incorporação de lodo são compatíveis com as características de interesse dos artesãos assim como se não há prejuízo à saúde humana na utilização destas peças. Para tanto, avaliou-se a incorporação de 12% e 15% de lodo da ETA Tamanduá - Foz do Iguaçu/PR em massa cerâmica para a produção de peças artesanais no âmbito do Projeto Ñandeva ⁽⁵⁾.

MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais utilizados

O lodo utilizado é proveniente da ETA Tamanduá de Foz do Iguaçu/PR. A composição química é 31,6% Al_2O_3 , 24,1% SiO_2 , 18,6% Fe_2O_3 , 2,8%, SO_3 , 2,2% TiO_2 e contém 35,9% de matéria orgânica ⁽³⁾.

Para a composição das massas cerâmicas, foi selecionada uma mistura industrializada de argila com chamote (representada por AP), procedente de São Paulo/SP, marca Pascoal, normalmente usada pelos artesãos do Projeto Ñandeva.

Incorporação de lodo *in natura* à massa cerâmica

Em uma primeira etapa, definiu-se duas composições: 12% e 15% de lodo *in natura* (representado por LIN) para 88% e 85% de AP, respectivamente (percentuais em massa, desconsiderando a água presente no lodo). Determinou-se a umidade do LIN pela média de três amostragens, relacionando a massa de água de uma amostra de lodo pela massa total desta. A massa de água foi obtida pela diferença entre a massa da amostra úmida e a massa da mesma após secagem em estufa a

105 °C por 24 h ⁽⁶⁾. A partir da umidade do LIN, calculou-se a quantidade necessária deste, por composição, para a obtenção do percentual de lodo em massa seca.

Com cada composição, preparou-se uma massa cerâmica e produziu-se uma peça segundo o processo convencional dos artesãos, mediante modelagem das massas em torno e com a assistência de uma artista plástica do Projeto Ñandeva. As peças modeladas foram secas ao ar e posteriormente sinterizadas em forno elétrico à temperatura de 1000 °C por 24 h.

O processo de confecção das peças foi monitorado para identificar possíveis dificuldades técnicas na utilização das massas cerâmicas. As peças prontas e lixadas passaram por inspeção visual e avaliação qualitativa pela artista plástica.

Beneficiamento do lodo de ETA para a utilização em cerâmica artística

Em uma segunda etapa, empregou-se um método de beneficiamento do lodo *in natura* denominado lodo seco moído (representado por LSM). O tratamento LSM consistiu na secagem do lodo em estufa à 110 ± 5 °C por 24 h e posterior moagem manual com pistilo em almofariz de ágata e tamização em peneira granulométrica de 0,297 mm de abertura de malha ⁽⁷⁾.

Para determinar a eficiência do tratamento, foram propostas quatro composições: 12% e 15% de LIN para 88% e 85% de AP, e 12% e 15% de LSM para 88% e 85% de AP. Para a produção das composições, manteve-se a relação percentual de lodo (massa seca) para AP, fazendo-se a correção referente à umidade no caso de LIN.

Para a confecção de massas cerâmicas, as composições AP + LSM demandaram a adição de água destilada para possibilitar o umedecimento e aglutinação dos componentes. Para cada massa cerâmica, produziu-se duas peças segundo o processo convencional dos artesãos. As peças modeladas foram secas ao ar e posteriormente sinterizadas em forno elétrico à 1100 °C por 7 h.

Para avaliar o método de tratamento, as peças sinterizadas foram submetidas ao ensaio de porosidade aparente, cujo cálculo é dado por (A):

$$PA = \frac{m_u - m_s}{m_u - m_i} \times 100 \quad (A)$$

onde PA é a porosidade aparente da peça, em %, m_u e m_s são a massa seca e a massa úmida da peça, em g, e m_i é a massa da peça imersa em água, em g ⁽⁸⁾.

Considerando que, quanto melhor o processo de sinterização da massa cerâmica, menor a porosidade da peça e a incidência de defeitos, especificamente de furos e bolhas, propõe-se aqui que a porosidade aparente pode ser usada como uma medida indireta da qualidade em relação a esses defeitos.

A partir da comparação das médias dos resultados de porosidade das peças confeccionadas com LIN e LSM, foi possível avaliar a influência do tratamento LSM na redução de defeitos em peças cerâmicas.

Análise de propriedades físicas e químicas de peças cerâmicas contendo lodo

Ante a dificuldade em se determinar parâmetros e faixa de valores que indicassem a qualidade de peças artísticas, por não haver métodos, normas ou ensaios específicos, neste trabalho fez-se necessário adaptar metodologias tradicionais e normalizadas, como por exemplo, ensaios de solos, concreto e telhas utilizar técnicas e parâmetros empíricos dos artesãos.

Assim, analisou-se as propriedades de peças cerâmicas sinterizadas contendo 12% e 15% lodo. Para tanto, foram produzidas duas composições: 12% e 15% de LSM para 88% e 85% de AP, respectivamente, adidas de água destilada em quantidade suficiente para o umedecimento e aglutinação dos componentes para formar massas adequadas à modelagem das peças.

Os ensaios físicos realizados foram: porosidade aparente, absorção de água, contração linear, resistência à compressão, além de inspeção visual. Com as massas cerâmicas, confeccionou-se peças em duplicata conforme a característica do ensaio, sendo todas secas ao ar e posteriormente sinterizadas em forno elétrico à temperatura de 1100 °C por 7 h.

Para a realização dos ensaios de porosidade aparente, absorção de água e para a inspeção visual foram confeccionadas peças segundo o processo convencional dos artesãos. Após sinterizadas, estas peças foram submetidas aos ensaios de porosidade aparente ⁽⁸⁾ e de absorção de água (cálculo dado por (B)).

$$AA = \frac{m_u - m_s}{m_s} \times 100 \quad (B)$$

onde AA é a absorção de água da peça, em %, e m_u e m_s representam a massa seca e a massa úmida da peça, em g ⁽⁹⁾.

Para o ensaio de contração linear, utilizou-se da metodologia adotada pela artista plástica. Assim, foram confeccionadas peças na forma de placas de aproximadamente 60 mm de comprimento, 60 mm de largura e 10 mm de altura. Antes de iniciar a secagem ao ar das placas, foram feitos dois riscos retos de 50 mm cada, espaçados por 20 mm entre si em cada peça (Figura 1).



Figura 1 - Peça para ensaio de contração linear.

Após a sinterização das placas, mediu-se o comprimento dos riscos com o auxílio de régua metálica e calculou-se a contração linear segundo (C):

$$CL = \frac{c_i - c_f}{c_i} \times 100 \quad (C)$$

onde CL é a contração linear da peça, em %, e c_i e c_f representam os comprimentos inicial (antes da secagem ao ar da peça) e final (após a sinterização da peça) dos riscos, em mm, respectivamente.

Para o ensaio de resistência à compressão foram confeccionadas, com o auxílio de um cilindro plástico, peças cilíndricas de aproximadamente de 50 mm de diâmetro e 50 mm de altura. Após a queima, as peças foram lixadas para regularizar as superfícies superior e inferior. Como as peças apresentaram redução de volume após a sinterização, suas medidas finais foram mensuradas com paquímetro para possibilitar o cálculo da resistência. As peças foram submetidas à ruptura por compressão axial ⁽¹⁰⁾ em prensa hidráulica apropriada.

Para a avaliação das propriedades químicas, realizou-se ensaio de lixiviação ⁽¹¹⁾ nos extratos proveniente de peças sinterizadas quebradas e moídas com pistilo

em almofariz de ágata. Para o ensaio, foi utilizado um espectrofotômetro de absorção atômica modelo Spectr AA-10 Plus, marca Varian.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Incorporação de lodo *in natura* à massa cerâmica

A umidade média das amostras de LIN foi igual a 82,62%. Uma vez que a AP encontrava-se na forma de pó seco e o lodo úmido, verificou-se grande dificuldade na homogeneização das massas cerâmicas. Após a homogeneização, observou-se que as massas apresentavam pedriscos e pequenos aglomerados de areia. Nenhuma das composições demandou adição de água, mostrando-se a umidade do lodo suficiente para a obtenção da consistência necessária ao trabalho artístico.

No processo de modelagem das peças, verificou-se que os pedriscos e os aglomerados de areia dificultavam o torneamento das massas cerâmicas e a confecção das peças, comprometendo a qualidade (aspecto visual) das mesmas.

Após a queima das peças, foram observados furos e bolhas nestas (Figura 2), decorrentes da presença de pedriscos, aglomerados de areia e matéria orgânica no lodo. Estes materiais não participaram das reações de decomposição e interação com os componentes da massa cerâmica durante o processo de sinterização à temperatura de queima imposta, dando origem aos defeitos ⁽¹²⁾.



Figura 2 - Furos e bolhas em peça sinterizada confeccionada com massa cerâmica com incorporação de 15% de lodo *in natura*.

Apesar da dificuldade na homogeneização das massas cerâmicas e dos defeitos nas peças sinterizadas, verificou-se que as peças apresentaram desempenho equivalente entre si e que, segundo a artista plástica, em termos de

trabalhabilidade artesanal e resposta à queima, semelhante a peças confeccionadas sem qualquer adição de lodo.

Nesta etapa, constatou-se que o lodo gerado na ETA Tamanduá pode ser utilizado em substituição parcialmente da argila em massa cerâmica para a produção de artefatos artísticos, reduzindo o consumo de argila e água no processo. Entretanto, detectou-se a necessidade de realizar o beneficiamento do lodo para desaglomerar essa matéria-prima e retirar os pedriscos e parte da matéria orgânica que comprometem o aspecto visual das peças.

Beneficiamento do lodo de ETA para a utilização em cerâmica artística

Na Tabela 1, são apresentados os resultados médios de porosidade aparente obtidos para as peças confeccionadas.

Tabela 1 - Porosidade aparente média das peças.

Composição da massa cerâmica	Porcentagem de lodo (%)	Porosidade aparente (%)
AP + LIN	12	36,44
	15	38,31
AP + LSM	12	35,16
	15	36,53

Em um estudo anterior ⁽⁷⁾, comparando-se a porosidade aparente de peças sinterizadas produzidas com AP, AP + LIN e AP + LSM, verificou-se que a adição de lodo, com ou sem tratamento, promove o aumento na porosidade das peças, consequência da granulometria do lodo que é principalmente arenosa e siltosa ⁽³⁾.

O tratamento LSM apresentou uma eficiência de 3,51% e 4,65% na redução da porosidade aparente média das peças com relação às peças com LIN para 12% e 15%, respectivamente. Esta redução na porosidade aparente indica que ocorreu uma melhor sinterização das argilas com o lodo seco moído e consequentemente, menor incidência de defeitos nas peças com este. Isso ocorre porque, com a granulometria mais fina do lodo, minimiza-se o tempo necessário para a ocorrência da reação de decomposição e introduz-se um patamar de desgaseificação, aumentando a liberação de gás na massa cerâmica ⁽¹²⁾.

Análise de propriedades físicas e químicas de peças cerâmicas contendo lodo

Na Tabela 2, são apresentados os resultados médios de porosidade aparente e absorção de água obtidos para as peças confeccionadas.

Tabela 2 - Porosidade aparente e absorção de água médias das peças.

Composição da massa cerâmica	Porcentagem de lodo (%)	Porosidade aparente (%)	Absorção de água (%)
AP + LSM	12	35,16	21,23
	15	36,53	22,43

Analizando comparativamente as médias de porosidade aparente e de absorção de água das peças com 12% e 15% de LSM, verifica-se uma pequena diferença entre os valores das duas composições, indicando desempenho similar, embora ligeiramente melhor com a adição de 12%. Segundo a artista plástica, estes são valores aceitáveis para aplicação em cerâmica artística.

Na Tabela 3, são apresentados os resultados médios de contração linear obtidos para as peças confeccionadas.

Tabela 3 - Contração linear média das peças.

Composição da massa cerâmica	Porcentagem de lodo (%)	Contração linear (%)
AP + LSM	12	11,00
	15	8,00

De acordo com recomendações técnicas de fabricação de cerâmica vermelha, a somatória da contração linear de secagem mais a de sinterização não deve ultrapassar 15%, sendo a faixa ideal de 2% a 8% ⁽⁸⁾. Segundo os resultados obtidos neste ensaio, tem-se que as peças com 12% e 15% de LSM estão de acordo com o padrão técnico de contração linear máxima de 15%, sendo que as peças com incorporação de 15% de LSM apresentaram contração linear dentro da faixa ideal.

Na Tabela 4, são apresentados os valores médios de resistência à compressão obtidos para as peças confeccionadas.

Tabela 4 - Resistência à compressão média das peças.

Composição da massa cerâmica	Porcentagem de lodo (%)	Resistência à compressão (MPa)
AP + LSM	12	11,85
	15	5,67

Analisando comparativamente as médias de resistência à compressão das peças com 12% e 15% de LSM, verifica-se um desempenho 109% melhor da composição com a adição de 12%. Uma vez que não há faixa de valores de referencia para este parâmetro em cerâmica artística, destaca-se que uma diferença relativamente pequena no percentual de lodo incorporado à argila acarreta uma diferença significativa nos valores de resistência à compressão das peças cerâmicas.

Na Tabela 5, são apresentados os resultados do ensaio de lixiviação juntamente com os valores máximos permitidos para substâncias químicas inorgânicas que representam risco à saúde, segundo o padrão de potabilidade da água para consumo humano ⁽¹³⁾.

Tabela 5 - Resultados do ensaio de lixiviação.

Parâmetro	Extrato lixiviado		Valor máximo permitido ⁽¹³⁾ mg/L
	AP + LSM 12% mg/L	AP + LSM 15% mg/L	
Arsênio	0,95	1,02	0,01
Bário	3,47	2,51	0,7
Cádmio	0,01	0,01	0,005
Chumbo	0,34	0,31	0,01
Cromo	0,02	0,02	0,05
Fluoreto	n.d.	n.d.	1,5
Mercúrio	n.d.	n.d.	0,001
Nitrato	1,69	3,05	10
Selênio	0,14	0,15	0,01
Sulfato	2,91	3,28	250

n.d.: não detectado pelo equipamento.

Optou-se em comparar os resultados com os parâmetros da norma de qualidade de água porque, assim como a água deve apresentar concentrações máximas de determinadas substâncias para ser considerada adequada para ao consumo humano, o extrato lixiviado de utensílios que estejam em contato com alimentos e bebidas não poderia exceder tais limites sob o risco de contaminar estes a níveis tóxicos para o homem.

Analisando os valores da Tabela 5, verifica-se que, para ambas as composições, as concentrações de arsênio, bário, cádmio, chumbo e selênio excedem aos valores máximos permitidos. Deste modo, não é recomendado o uso das peças cerâmicas como utensílios para a disposição de alimentos e bebidas.

Na inspeção visual, não foram identificados defeitos nas peças confeccionadas, confirmando a eficiência do tratamento do lodo - LSM. Na Figura 3 é apresentada uma das peças produzidas nesta etapa (AP + LSM 15%), permitindo uma comparação com a peça mostrada na Figura 2 (AP + LIN 15%).



Figura 3 - Peça sinterizada confeccionada com massa cerâmica com incorporação de 15% de lodo seco e moído.

CONCLUSÕES

Neste trabalho, constatou-se que é possível incorporar lodo de ETA à massa cerâmica para a fabricação de artefatos artísticos. Entretanto, o lodo deve ser submetido a tratamento prévio, uma vez que o lodo *in natura* favorece a ocorrência de defeitos nas peças sinterizadas. O método de beneficiamento para adequar o lodo ao uso em cerâmica artística consiste na secagem e moagem deste.

Comparando-se porosidade aparente, absorção de água e na avaliação visual de peças sinterizadas com 12% e 15% de lodo beneficiado, verificou-se um desempenho similar entre as duas composições. Para contração linear e resistência à compressão, observou-se, respectivamente, maior resistência e menor contração para peças com 12% e 15% de lodo, sendo possível usar satisfatoriamente uma ou outra composição, dependendo da característica de maior interesse para o desempenho da peça cerâmica.

Através do ensaio de lixiviação, identificou-se que peças cerâmicas contendo lodo são impróprias para a confecção de utensílios que fiquem em contato com

alimentos ou bebidas, sendo, portanto, mais adequado o uso do lodo em peças decorativas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Sanepar, ao Laboratório de Tecnologia do Concreto de Itaipu, ao Parque Tecnológico Itaipu, à Professora Rosangela Bergamasco do Departamento de Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá e à equipe do Projeto Ñandeva, em especial à artista plástica Maria Cheung.

REFERÊNCIAS

1. PORTELLA, K.F.; ANDREOLI, C.V.; HOPPEN, C.; SALES, A. BARON, O. Caracterização físico-química do lodo centrifugado da estação de tratamento de água Passaúna - Curitiba - PR. In: 22º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA AMBIENTAL, Joinville, SC, 2003, **Anais...** Joinville, ABES, 2003. Disponível em: http://www.sanepar.com.br/Sanepar/Gecip/Congressos_Seminarios/Lodo_de_agua/Caracterizacao_do_lodo_de_ETA.pdf. Acesso em: 9 de agosto de 2009.
2. ANDREOLI, C.V. **Resíduos sólidos do saneamento**: processamento, reciclagem e disposição final. Rio de Janeiro: RiMa, ABES, 2001.
3. TARTARI, R. **Incorporação de lodo gerado na estação de tratamento de água Tamanduá, como aditivo em massa para cerâmica vermelha**. 2008, 125 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo.
4. HOPPEN, C.; PORTELLA, K.F.; JOUKOSKI, A.; BARON, O.; FRANCK, R.; SALES, A.; ANDREOLI, C.V.; PAULON, V.A. Co-disposição de lodo centrifugado de estação de tratamento de água (ETA) em matriz de concreto: método alternativo de preservação ambiental. **Cerâmica**, v.51, n.318, p.85-95, 2005.
5. NÃNDEVA. Disponível em: http://www.nandeva.org/home_new/programa.php?idMenu=2. Acesso em: 19 mar. 2010.
6. EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997.
7. POZZOBON, J.C.; LUCAS, J.F.R.; DÍAZ MORA, N. Avaliação de métodos de tratamento do lodo de ETA para a utilização em cerâmica artística. In: IV CONGRESSO DA ACADEMIA TRINACIONAL DE CIÊNCIAS, Foz do Iguaçu, PR, 2009. **Anais...** Foz do Iguaçu, UNIOESTE, 2009.

8. SANTOS, P. de S. **Tecnologia de argilas**. São Paulo: Edgar Blücher, Editora da USP, 1975.
9. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15310: componentes cerâmicos - telhas - terminologia**. Rio de Janeiro, 2009.
10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: concreto: ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 1996.
11. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10005: lixiviação de resíduos**. Rio de Janeiro, 1987.
12. SILVA, R.C. da. **Obtenção e caracterização de vidrados contendo resíduos industriais**. 2004, 125 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Materiais) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa.
13. BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria n.º 518 de 25 de março de 2004**. Disponível em: <http://dtr2001.saude.gov.br/sas/PORTARIAS/Port2004/GM/GM-518.htm>. Acesso em: 30 de março de 2010.

APPLICATION OF WATER TREATMENT PLANTS SLUDGE FOR THE ARTISTIC POTTERY PRODUCTION

ABSTRACT

The conventional process for drinkable water treatment generates as waste a sludge with high moisture content. In face to the need of better management for this its disposal, aiming a technical and environmentally advantageous solution, it is proposed in this work to investigate the sludge incorporation into the ceramic body for artistic pottery manufacture, in partial replacement of clay usually used. In this regard, it was used the sludge from Tamandua WTP - Foz do Iguaçu/PR and an industrialized mixture of clay with “chamote”, used by the regional artisans. It was manufactured ceramic bodies containing 12% and 15% of sludge with which was modeled and posteriorly exposed to 1100 °C for 7 h. The pieces were submitted to apparent porosity, water absorption, linear shrinkage, compressive strength and lixiviation tests and visual appraisal. Analyzing the results, it was found that it is possible to apply the sludge satisfactorily in the production of decorative artifacts.

Key-words: water treatment, waste use, handicraft.