

ADIÇÃO DE LODO DE LAVANDERIA INDUSTRIAL EM CERÂMICA VERMELHA

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.8.25.V-003>

Geovana Carla Gironi Delaqua (*), Carlos Maurício Fontes Vieira

* Laboratório de Materiais Avançados – LAMAV/UENF, Av. Alberto Lamego 405, Parque Califórnia, CEP: 28013-602, Campos dos Goytacazes, RJ.

RESUMO

O setor têxtil, em especial as lavanderias, é um dos setores industriais que gera grande quantidade de resíduos que necessitam de um tratamento adequado antes de seu descarte no meio ambiente. Além do aumento dos custos produtivos, a deposição de resíduos em aterros sanitários adequados é a alternativa menos nobre no que se refere à hierarquia da pirâmide invertida para gerenciamento de resíduos sólidos. Neste contexto, as indústrias cerâmicas tradicionais que produzem principalmente tijolos e telhas representam uma das melhores alternativas para o aproveitamento de uma enorme variedade de resíduos sólidos industriais. O objetivo foi de identificar a quantidade ideal de lodo de lavanderia a ser incorporada em função das propriedades da massa argilosa que foram obtidas através de alguns ensaios, como, plasticidade da massa, tensão de ruptura à flexão, absorção de água e retração linear. O resíduo prejudicou as propriedades, mas quando em menores percentuais, pode ser adicionado, onde pode contribuir para economia energética na etapa de queima das peças. A incorporação de lodo de lavanderia na produção de cerâmica vermelha vem se mostrando uma alternativa limpa, sustentável e de relativa facilidade de realização para descarte correto do lodo.

PALAVRAS-CHAVE: Lodo; incorporação; Cerâmica vermelha; resíduo

ABSTRACT

The textile sector, in particular the laundries, is one of the industrial sectors that generates large quantity of wastes that require an appropriate treatment before their disposal in the environment. In addition to productive costs increasing, the deposition of wastes in appropriate sanitary landfills is the least noble alternative as regards the inverted pyramid for solid waste management hierarchy. In this context, the traditional ceramics industries which produce primarily bricks and roofing tiles represents one of the best alternatives to use a huge variety of industrial solid wastes. The objective was to identify the ideal amount of laundry sludge to be incorporated depending on the properties of the clay mass that were obtained through some tests, such as mass plasticity, flexural rupture stress, water absorption and linear retraction. The residue damaged the properties, but when in lower percentages, it can be added, where it can contribute to energy savings in the burning stage of the pieces. The incorporation of laundry sludge in the production of red ceramics has proven to be a clean, sustainable and relatively easy-to-implement alternative for correct sludge disposal.

KEY WORDS: Sludge, Incorporation, Red ceramic, Waste.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos a reciclagem de resíduos têm se tornado uma preocupação mundial. Isso porque todo processo industrial gera resíduos, que muitas vezes são tóxicos e perigosos, e que, portanto, não devem ser simplesmente descartados na natureza, visto que podem causar danos à saúde e ao ambiente. Assim, a destinação final adequada dos resíduos sólidos tem sido um dos maiores problemas da sociedade moderna. Dessa forma, houve a necessidade de buscar novos conceitos e soluções, dentro de uma visão de sustentabilidade e comprometimento com a questão ambiental [1,2].

Um dos setores industriais que geram grande quantidade de resíduos, que necessitam de tratamento antes de serem dispostos na natureza, é o setor têxtil, em especial as lavanderias. Os processos de lavagem e tingimento em lavanderias industriais utilizam grande quantidade de produtos químicos que conferem maciez, brilho, solidez e cor às peças. Os corantes utilizados na etapa de tingimento são de vários tipos: reativos, sulfurosos, diretos e pré-metalizados [3]. Estes corantes contêm em sua composição metais pesados ligados à parte orgânica da molécula. Os corantes que não se aderem à fibra durante o tingimento são descartados durante as etapas de lavagem e conferem cor ao efluente. É necessária a remoção desta cor para lançar o efluente em um corpo receptor ou para reutilizá-lo. Durante o tratamento

nas ETEs são utilizados produtos químicos, como soda (NaOH) ou cal (CaO), para correção do pH, sulfatos de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) ou de ferro (FeSO_4), para coagulação e polieletrólitos catiônicos ou aniônicos, para decantação ou floculação, formando nesta etapa, o resíduo semissólido conhecido como lodo. Portanto, o resíduo proveniente das ETEs de lavanderias industriais apresenta em sua composição metais pesados, que quando em contato com o solo pode infiltrar chegando a contaminar o lençol freático [3-5]. A NBR 10.004/04 (ABNT)[6] classifica este resíduo como sendo de Classe II A, não perigoso e não inerte, sendo passível de aproveitamento.

As indústrias de cerâmica vermelha podem ter um papel relevante como receptoras de resíduos sólidos visando sua disposição final. Esta incorporação, feita de maneira criteriosa, permite dar um destino ambientalmente correto para resíduos que, de outra forma, seriam fontes de poluição [7].

Desta forma, este trabalho tem como objetivo investigar o reaproveitamento do lodo de ETE de lavanderia industrial em cerâmica vermelha.

MATERIAIS E MÉTODOS

No presente trabalho foram utilizadas como matérias-primas uma massa argilosa da Cerâmica Rodolfo de Azevedo Gama, de Campos dos Goytacazes - RJ e o lodo de ETE de lavanderia industrial, proveniente do processo de beneficiamento e tinturaria de artigos de vestuário da Lavanderia Cinco Estrelas, localizado na cidade de São João de Nepomuceno-MG. As matérias-primas foram coletadas e encaminhadas ao Laboratório de Materiais Avançados (LAMAV) da Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF para as devidas análises e procedimentos experimentais.

Após coleta, a argila foi seca em estufa de laboratório da marca OLIDEF CZ modelo Linea a 110°C até peso constante para retirada da água residual, e posteriormente foi desagregada manualmente com almofariz e pistilo de porcelana até passagem completa em peneira de 40 mesh (abertura de 0,425mm). Já o lodo, após a coleta, foi seco na mesma estufa a 60°C, para evitar a volatilização de matéria orgânica, até peso constante para retirada da água residual, e posteriormente foi desagregado e peneirado da mesma forma que a argila.

As matérias-primas foram submetidas a ensaios de caracterização química (FRX).

A preparação das formulações com incorporação do lodo de ETE na massa argilosa nas seguintes concentrações: 0; 5; 10 e 20% em massa. A massa cerâmica após ser seca em estufa (110 °C) e desagregada manualmente com almofariz e pistilo de porcelana foi, assim como o lodo de ETE, passada em peneira de 40 mesh (0,425 mm). Todo o material foi pesado de acordo às formulações, previamente calculadas. As formulações foram homogeneizadas a seco em um moinho de bolas durante 20 minutos e posteriormente as composições foram armazenadas em sacos plásticos por 24 horas. Após preparadas, a plasticidade das massas foi testada para avaliar o prognóstico de extrusão.

As formulações preparadas foram umedecidas com spray com 8% de água, de modo a permitir a conformação por prensagem dos corpos de prova por prensagem uniaxial em prensa hidráulica, com uma pressão de compactação de aproximadamente 34MPa. Utilizou-se neste processo uma matriz de forma retangular nas dimensões 114,0X 25,0X 11,0mm e pistões de aço. Após a prensagem, os corpos-de-prova foram secos em estufa a 110°C por 24 horas. Os corpos de prova secos foram queimados em forno laboratorial da marca INTI, modelo FL- 1300 (Figura 2.5), com taxa de aquecimento de 2°C/min com temperatura de patamar de 850°C. Os corpos de prova foram mantidos na temperatura patamar por 3 horas e resfriados por convecção natural, desligando-se o forno. Antes e após a queima as peças tiveram suas massas e dimensões medidas para que fossem determinadas as seguintes propriedades: absorção de água, retração linear, e resistência mecânica.

RESULTADOS

Na Tabela 1 são apresentadas as composições químicas das matérias-primas. É possível observar que a composição química das argilas utilizadas é composta pela presença de sílica (SiO_2), representando 53,58%, e alumina (Al_2O_3), com 23,76% as quais estão em sua maior parte combinadas formando os aluminossilicatos como por exemplo, a mica muscovita e a caulinita. É possível observar ainda um elevado teor de óxido de ferro (Fe_2O_3), o que confere uma coloração avermelhada ao produto após a queima, além de reduzir a plasticidade, diminuir a retração e facilitar a

secagem [8]. O K_2O que está presente na argila, em percentual observado de 1,92%, típico de argilas caulínicas, contribui na formação de fase líquida [9]

Já os óxidos de cálcio (CaO) e magnésio (MgO) apresentam baixa concentração, o que indica a ausência de carbonatos nessa matéria-prima. Observa-se que as argilas apresentam uma considerável perda ao fogo (PF), que está associada à diminuição de peso, até um valor constante, que indica uma perda de material devido ao aumento de temperatura. Segundo Amaral et al.,(2019) [8], a perda ao fogo (PF) ocorre principalmente devido à perda de água de constituição da caulinita, além da desidratação de hidróxidos e oxidação de matéria orgânica.

Tabela 1: Composição química das matérias-primas

Componente	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	MnO	K_2O	Na_2O	CaO	MgO	P_2O_5	PF*
Argila Amarela	53,58	23,76	9,00	1,14	<0,05	1,92	0,5	0,33	0,99	0,14	8,60
Argila Vermelha	52,72	26,53	8,64	1,20	<0,05	0,81	<0,05	<0,05	0,28	0,12	9,63
Lodo	29,52	26,62	2,45	0,16	0,79	0,97	0,93	6,11	0,78	1,97	29,60

Nesta mesma Tabela 1 ainda é apresentada a composição química do lodo. Observa-se que o lodo de ETE, além de sílica (29,52%) e alumina (26,56%), apresenta elevado teor de CaO (6,11%), podendo ser considerado um material fundente, para temperaturas acima de 1000 °C. O elevado teor de sílica, possivelmente oriundo das pedras de argila expandida usadas durante o processo de preparação do tecido para receber os corantes e alvejantes.

A Figura 1 apresenta a localização das composições estudadas num gráfico elaborado a partir dos limites de plasticidade de Atterberg que indica regiões de extrusão ótima e aceitável [10]. Observando a figura 1 é possível verificar que a faixa aceitável do limite de plasticidade (LP) é de 18 a 30%, e que as formulações com 0 e 10% localizam-se fora da faixa. Este comportamento ocorre provavelmente em função da excessiva plasticidade da argila estudada. Este resultado é corroborado pelas análises química, física e mineralógica. Apenas a formulação com 20% de lodo encontra-se dentro desta faixa. Isso ocorre, uma vez que, a adição do lodo como um material não-plástico acarretou diminuição do LP apresentando assim melhor trabalhabilidade. Em todas as formulações, os índices de plasticidade encontram-se com valores superiores aos 10%, que é o valor mínimo aceitável. De acordo com Vieira et al.,(2003) [5], abaixo deste valor torna-se muito perigosa a etapa de conformação, já que há um grande risco de mudança no comportamento plástico com pequena alteração na quantidade de água utilizada. Desta forma, os resultados revelaram que incorporações inferiores a 20% de resíduo não são ideais para a obtenção de trabalhabilidade da argila investigada.

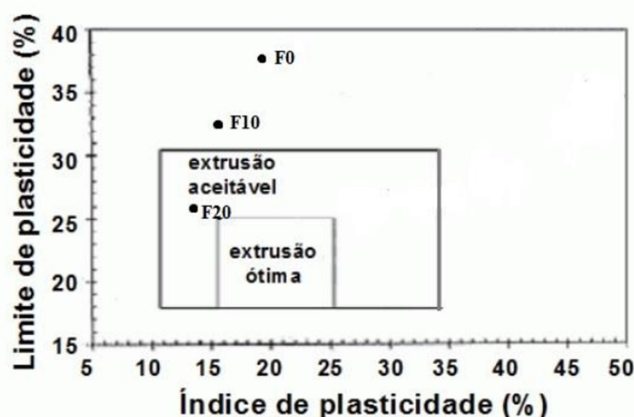


Figura 1- Prognóstico de extrusão por meio dos limites de Atterberg.

A Figura 2 apresenta os resultados de retração linear de queima (A), absorção de água (B) e tensão de ruptura à flexão (C) das composições na temperatura de 850°C. Na Figura 2A nota-se que houve um aumento da retração linear em todas as composições. Isto ocorre devido à evolução da densificação do material e consequentemente diminuição da porosidade. Porém, pode-se observar que o aumento da retração foi mais significativo para composição com 10% de lodo. Com isso, o risco de trincas de aquecimento é também maior. Além disso, deve-se garantir uma distribuição de temperaturas bastante homogênea nos fornos para que não haja problemas dimensionais nos produtos.

Na Figura 2B é possível observar que com uma maior incorporação do lodo, ocorre um aumento na absorção de água. O aumento da absorção de água da cerâmica está associado com o aparecimento de porosidade aberta em função da queima do carbono e dos hidrocarbonetos, que possivelmente estão presentes no resíduo, conforme indicado pela análise de DRX. Para tijolos, segundo a norma NBR15270 (ABNT, 2017) [11], o índice de Absorção de água não deve ser inferior a 8% nem superior a 25%. Já a norma NBR 15310 (ABNT, 2009) [12] indica que o limite máximo admissível da absorção de água para telhas cerâmicas é de 20%. Dessa forma, é possível observar que os valores de AA das peças com 20% de lodo não se enquadraram nas normas para fabricação de tijolos e telhas. Assim, nota-se que as peças cerâmicas com melhores resultados foram as com teores de lodo de 5 e 10%.

É possível observar que houve um aumento da absorção de água com a incorporação do lodo. Devido a esse acréscimo da absorção de água, era de se esperar uma redução na resistência à flexão da argila com adição do resíduo, uma vez que, a absorção de água está associada à porosidade aberta da cerâmica e, portanto, às características microestruturais do interior das peças. Observa-se ao analisar a figura 2C que apenas a composição com 20% de lodo, não atinge os valores especificados nas normas para a fabricação de tijolos maciços de 2,0MPa e que nenhuma das composições atinge o valor especificado em norma para a fabricação de blocos cerâmicos de 5,5Mpa.

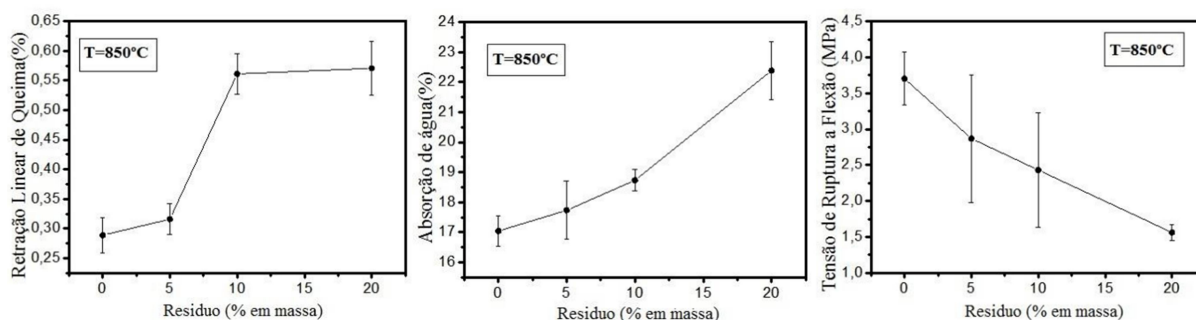


Figura 2. Retração linear de queima (A), absorção de água (B) e tensão de ruptura à flexão (C) das composições estudadas.

CONCLUSÃO

Com os resultados obtidos é possível concluir que a massa utilizada apresenta uma excessiva plasticidade, o que acarreta em uma maior quantidade de água para sua conformação. A incorporação do resíduo ajustou a plasticidade da massa argilosa, mas em quantidade deve ser ponderada.

Os ensaios mecânicos realizados comprovam que a resistência é inversamente proporcional ao teor de lodo incorporado. Mesmo assim, as formulações com 0, 5 e 10% de resíduo em peso, sinterizadas a 850°C, atingem os valores especificados nas normas, de resistência mecânica, para a fabricação de tijolos maciços de 2,0MPa, comprovando que há benefícios com a incorporação do lodo. Já a absorção de água e a retração linear são diretamente proporcionais ao teor de lodo incorporado. Contudo os valores obtidos para os ensaios de absorção para as formulações com 0, 5 e 10% de resíduo em peso estão dentro dos valores normativos para fabricação de tijolos e telhas. Desta forma, a adição de lodo em uma massa cerâmica é uma forma ambientalmente correta para a destinação deste resíduo, além de trazer benefícios para a cerâmica na etapa da queima, como redução de combustível.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a UENF, a CAPES, ao CNPq proc. nº 302976/2022-1, a FAPERJ proc. nº E-26/200.847/2021, E-26/200.104/2024 e E-26/200.105/2024, pelo apoio financeiro, e a Arte Cerâmica Sardinha pela doação da matéria-prima argilosa utilizadas neste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Parthan, S.R., Milke, M.W., Wilson, D.C, **Cost estimation for solid waste management in industrialising regions Precedents, problems and prospects**, Waste Manag. 32 (2012) 584–594.

2. Mrayyan, B., Hamdi, M.R, **Management approaches to integrated solid waste in industrialized zones in Jordan: A case of Zarqa City**, Waste Manag. 26 (2006) 195–205. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2005.06.008>.
3. Herek LCS, Hori CE, Reis MHM, Mora ND, Tavares CRG, Bergamasco R (2012) **Characterization of ceramic bricks incorporated with textile laundry sludge**. Ceramics International 38: 951-959
4. Viera, C.M.F., Peçanha, L.A., Monteiro, S.N. **Reformulação de massa cerâmica para telhas com resíduo de serragem de granito**. Congresso de Engenharia e Ciência dos Materiais. CBECiMat.2002.
5. Vieira, C. M. F.; Soares, T. M; Monteiro S. N. **Massas cerâmicas para telhas: características e comportamento de queima**. Cerâmica, São Paulo, v. 49, p. 245-250. 2003.
6. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004). **Classificação de Resíduos Sólidos**, NBR 10004, Rio de Janeiro, 2004.
7. Vieira, C. M. F.; Monteiro, S. N. **Solid state sintering of red ceramic at lower temperatures**. Ceramics International, v. 30, p. 381-387. 2004
8. Amaral, L.F., De Carvalho, J.P.R., Delaqua, G.C.G., Vieira, C.M.F, **Development of ceramic paver with ornamental rock waste**, J. Mater. Res. Technol. (2019). <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2018.05.009>.
9. Delaqua, G.C.G., Vernilli, F., Teixeira, S.R., Colorado, H.A.L., Monteiro, S.N., Vieira, C.M.F. **Influence of glass particle size on the physico-mechanical properties of red ceramic**, *Journal of Materials Research and Technology*, Volume 26, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.09.040>
10. Marsigli, M., Dondi, M., **“Plasticità delle argille italiane per laterizi e previsione del loro comportamento in foggatura”**, L’Industria dei Laterizi, v. 46, pp. 214-222, 1997.
11. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - **Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio**, NBR 15270-3, Rio de Janeiro, 2005.
12. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009). **Telhas – Termologia, requisitos e métodos de ensaio**, NBR 15310, Rio de Janeiro, 2009.