

Reaproveitamento de Lodo de ETE para Produção Industrial de Engobes

Pedro Luiz Troes Velho^{a*}, Adriano Michael Bernardin^a

^a*Tecnologia em Cerâmica, Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC,
Criciúma, SC, Brasil*

**e-mail: pedrolvelho@hotmail.com*

Resumo: Este artigo reporta os resultados de pesquisa referente ao reaproveitamento de lodo de estação de tratamento de efluentes de uma indústria de revestimentos cerâmicos pela adição do lodo em um engobe industrial. O reaproveitamento tem como finalidade a redução dos custos de produção do engobe, a diminuição de rejeitos que são enviados a aterros e, conseqüentemente, a diminuição de um considerável impacto ambiental. Foram realizados testes preliminares em laboratório para a implantação em escala fabril de produção, sendo formuladas misturas do lodo com o engobe padrão de produção, em percentuais de 25 a 100% em massa. Para cada mistura foram determinadas a composição química (FRX e AAS) e o comportamento térmico (dilatometria óptica). Após os ensaios preliminares, foi determinada a adição de 25% do lodo ao engobe para teste industrial, sendo então o lodo aplicado a peças de semi-grés segundo um ciclo industrial padrão de 35 minutos. As peças queimadas foram ensaiadas quanto à determinação da marca da água, aspecto superficial, resistência química, resistência a manchas, resistência ao risco Mohs, absorção de água, resistência ao gretado, e expansão por umidade. Os resultados obtidos com a incorporação de até 25% de resíduo foram comparáveis aos resultados obtidos com o engobe padrão.

Palavras-chave: *resíduo, lodo, engobe, reciclagem, revestimentos cerâmicos.*

1. Introdução

Ao longo da existência do homem os recursos naturais do planeta foram utilizados sem nenhuma preocupação, gerando resíduos, pois aqueles eram considerados abundantes. A partir do século XVIII surgiram as indústrias, cujo principal objetivo era o crescimento da produção a qualquer custo e a curto prazo; deste modo, novos processos produtivos foram desenvolvidos, aumentando muito a exploração de matérias-primas e o consumo de energia, pois acreditava-se que estas eram inesgotáveis. Esta nova visão do processo de produção trouxe consigo grandes riquezas econômicas, mas trouxe também grandes problemas ambientais, entre eles a grande quantidade de resíduos gerados^{1,3}.

Atualmente a preocupação com a preservação do meio ambiente vem crescendo muito em diversos países, não sendo diferente no Brasil. As indústrias produzem resíduos, umas em maior outras em menor grau, e nem sempre estes são reaproveitados, ou a eles é dado um destino ecologicamente correto, pois é um grande desafio dar fim a estes subprodutos. Os produtos secundários podem ser reutilizados diretamente ou aproveitados como matéria-prima no processo industrial¹, pois empresas com interesse em ampliar o mercado vêm sempre investindo no desenvolvimento de seus produtos e estimulando as pesquisas com objetivo de baixar o custo das matérias-primas. Uma forma encontrada foi estudar as possibilidades de reduzir a quantidade de resíduos industriais, utilizando-os de alguma forma, sendo que a reciclagem de resíduos industriais é hoje uma realidade nas indústrias cerâmicas^{2,4-6}.

Com relação ao processo de fabricação de revestimentos cerâmicos, na etapa de decoração cerâmica são aplicadas as camadas de cobertura, o engobe e o vidrado, e a decoração propriamente dita⁹. O engobe e o vidrado são aplicados por discos ou por campânula, com uma gramatura de aproximadamente 15 g. O engobe é uma cobertura aplicada sobre o corpo cerâmico em estado cru ou queimado. É constituído por uma mistura de argilas, caulins, materiais não plásticos como quartzo, feldspatos, sienitas, fritas fundentes, e algumas vezes pigmentos cerâmicos. Tem como finalidade eliminar

defeitos superficiais do corpo cerâmico, possibilitando uma melhor superfície ao vidrado; mudar a cor do corpo cerâmico; diminuir as degaseificações produzidas por decomposições no corpo cerâmico através do vidrado em monoqueima; e isolar a camada de vidrado do corpo cerâmico, a fim de eliminar as reações de decomposição que o vidrado fundido provoca nos componentes da massa e as degaseificações que as acompanham.

A diferença fundamental entre o engobe e o vidrado é a quantidade reduzida de fase líquida que se forma no engobe e a temperatura de queima que depende de sua composição química. O engobe assegura a constância das cores, independentemente da cor e qualidade da base cerâmica (suporte): aplica-se o engobe como camada intermediária lisa, branca e ligeiramente fundente⁸.

Desta forma, o desenvolvimento deste trabalho teve como objetivo a utilização de resíduos industriais na produção cerâmica, diminuindo assim o consumo de matéria-prima natural, protegendo-se o meio ambiente de novas agressões. Neste estudo foi utilizado o lodo gerado na ETE (Estação de Tratamento de Efluentes) da empresa Cerâmica Artística Giseli para reutilizá-lo novamente na produção de engobe utilizado na fabricação de listelos.

2. Materiais e Métodos

O desenvolvimento do trabalho foi realizado com a utilização do resíduo industrial do decantador da Estação de Tratamento de Efluentes da empresa Cerâmica Artística Giseli, denominado lodo. O lodo foi incorporado em percentuais mássicos de 25, 50, 75 e 100% em um engobe cerâmico utilizado na fabricação de peças especiais.

2.1. Caracterização das formulações

O lodo foi caracterizado pelas técnicas de análise química por fluorescência de raios X (FRX) e seu comportamento térmico por dilatometria ótica (microscopia ótica). Para a análise química por FRX as amostras foram preparadas como pérola fundida, utilizando-se espectrometria por dispersão de comprimentos de onda (WDS),

Philips PW2400). O elemento boro foi determinado pela técnica de absorção atômica em chama (AAS), pois não pode ser detectado pela técnica de FRX.

A dilatométrica ótica das amostras foi realizada em corpos-de-prova prensados (20 kgf.cm⁻²) com 7% de umidade, com dimensões de 4 mm de diâmetro por 2 mm de altura. O ensaio foi realizado com taxa de aquecimento de 10 °C/min, de 20 a 1400 °C, utilizando-se a técnica de microscopia de aquecimento (MISURA HT).

2.2. Preparação do engobe para teste industrial

Após a análise dos resultados de caracterização das formulações, foi definido o percentual de 25% em massa de lodo a ser introduzido no engobe. A formulação 25% lodo/75% engobe foi homogeneizada a úmido em moinho industrial de 1500 L durante 1 hora, sendo em seguida descarregada em malha 325 ABNT para determinação do resíduo, do tempo de escoamento em copo Ford n° 4 e da densidade por picnometria (picnômetro de 100 mL).

O engobe obtido foi aplicado em escala semi-industrial em peças especiais tipo “listelo” (25 cm × 8 cm × 6 mm) por aplicação a disco (24 lâminas tipo FM). Foram aplicadas 1000 peças. O ciclo do forno foi de 35 minutos com uma máxima temperatura de patamar de 1150 °C. Amostras do listelo aplicado com o engobe teste foram caracterizadas segundo a norma NBR 13818/1997⁷ para as seguintes propriedades: Determinação das características dimensionais e do aspecto superficial; determinação da resistência química; determinação da resistência a manchas; medidas da resistência ao risco Mohs; determinação da absorção de água; determinação da resistência ao gretado; e determinação da expansão por umidade. Além destes ensaios foi realizada a determinação da marca d'água (ensaio realizado segundo procedimento interno do SENAI de Criciúma, SC).

Além disso, foram avaliados os aspectos estéticos como cor, textura e brilho de superfície. A cor e o brilho foram determinados pela técnica de espectrofotometria, utilizando-se um espectrofotômetro com geometria esférica d-8 (BYK-GARDNER) com leituras entre 400 a 700 nm, ângulo de observação de 10° e iluminante D65. O brilho foi determinado utilizando-se o mesmo equipamento, mas com ângulo de reflexão de 60°. A textura foi determinada visualmente.

2.3. Teste em escala piloto e implantação industrial

Em seguida foi feito um teste piloto em linha de produção para a avaliação final. A partir dos resultados do teste semi-industrial, definiu-se o percentual de 25% de incorporação do lodo na formulação do engobe para utilização em escala normal de produção.

3. Resultados e Discussões

Os resultados da caracterização química do resíduo industrial (o lodo da ETE), do engobe de produção e das formulações são apresentados na Tabela 1.

Deve ser observado que a análise química foi feita com o composto do engobe, ou seja, o engobe formulado com frita, caulim e areia de zircônia. Desta forma, os resultados são aproximados. Pode-se perceber que o engobe é formado majoritariamente por sílica, formadora de vidro, e apresenta grande quantidade de alumina e zircônia. Ambas apresentam como característica elevada refratariedade, e, além disso, a zircônia é utilizada para branquear o engobe. Os óxidos fundentes somados ao óxido de boro (~8%) tornam o engobe impermeável à ação da água.

O lodo é proveniente da lavação do piso do setor de esmaltação, ou seja, é composto por resíduos de todas as tipologias de vidrados e engobes da empresa. É também formado majoritariamente por sílica, apresentando grande quantidade de alumina e menor teor de zircônia que o engobe. Apresenta maior quantidade de óxidos fundentes somados ao óxido de boro (~15%) que o vidrado, tornando-o

Tabela 1. Análise química (FRX e AA) das formulações de engobe usando lodo de ETE (% massa).

Amostra	100% engobe	25% lodo	50% lodo	75% lodo	100% lodo
SiO ₂	60,9	57,5	56,7	55,8	54,3
Al ₂ O ₃	12,8	12,3	12,1	11,7	11,3
ZrO ₂	13,2	10,7	9,3	7,6	5,9
CaO	2,4	3,5	4,7	6,1	7,4
MgO	1,8	1,7	1,6	1,6	1,5
B ₂ O ₃	1,6	1,9	2,0	2,5	3,1
Na ₂ O	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
K ₂ O	1,1	1,3	1,6	2,0	2,4
Fe ₂ O ₃	0,2	1,6	1,7	1,81	1,9
ZnO	0,8	3,3	4,0	4,7	5,6
PF ^a	3,3	3,0	2,9	2,9	2,7

^aPF = perda ao fogo.

Tabela 2. Temperaturas características (dilatométrica ótica) das formulações de engobe usando lodo de ETE (°C).

Temperatura (°C)	100% lodo	75% lodo	50% lodo	25% lodo	100% engobe
Sinterização	929	976	1078	1099	1128
Amolecimento	962	1101	1109	1222	1170
Esfera	1193	1213	1260	1303	1303
Meia esfera	1284	1293	1358	1378	1378
Fusão	1359	1356	1393	1397	1397

Tabela 3. Composição do engobe padrão e do engobe modificado (25% lodo) segundo parâmetros de processamento da empresa (% massa base seca).

Composição (%)	Engobe padrão	Engobe 25% lodo
Argila branca	15	13
Zircônia	16	15
Feldspato branco	10	8
Frita transparente	53	47,3
Quartzo	3	-
Alumina	3	3
Lodo	-	13,7

Tabela 4. Parâmetros de processamento da empresa para o engobe padrão e o engobe modificado (25% lodo).

Parâmetro	Engobe padrão	Engobe 25% de lodo
Densidade (g.cm ⁻³)	1,80	1,80
Tempo de escoamento (s)	20,8	23,2
Resíduo (% massa)	2,25	2,15

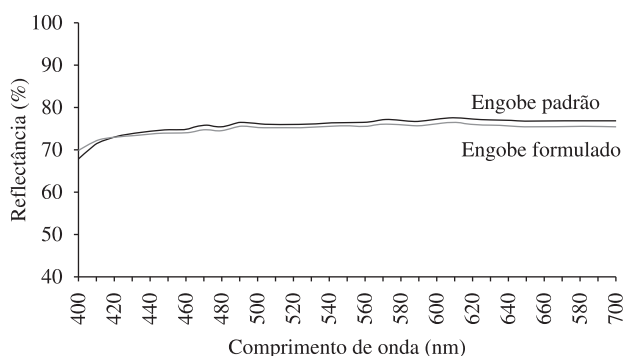
mais fundente. As demais formulações apresentam composições intermediárias.

Os resultados da caracterização térmica do resíduo industrial (o lodo da ETE), do engobe de produção e das formulações são apresentados na Tabela 2.

Analisando-se os resultados do ensaio de dilatométrica ótica, Tabela 2, percebe-se que o engobe é mais refratário que o lodo e que todas as demais formulações. Tanto a temperatura de sinterização quanto as de amolecimento, esfera, meia esfera e de fusão do engobe são maiores que as do lodo, alterando significativamente o

Tabela 5. Características das placas cerâmicas fabricadas com engobe com adição de 25% de lodo segundo a norma NBR 13818/1997.

Ensaio	Resultado do ensaio		
Resistência química	HCl 3% = GLA	Ácido cítrico (100 g.L ⁻¹) = GLA	NaOH (30 g.L ⁻¹) = GLA
Resistência a manchas	Ação penetrante = 5	Ação oxidante = 5	Formação de película = 5
Resistência ao risco Mohs	6		
Absorção de água	5,6		
Mancha de água	Classe A		
Resistência ao gretado	Não gretou em três ciclos		
Expansão por umidade	0,05 mm.m ⁻¹ , com máximo de 0,1 mm.m ⁻¹		

**Figura 1.** Curva espectral para o engobe com 25% de lodo em comparação com a curva espectral do engobe padrão.

comportamento térmico das formulações lodo/engobe, o que altera as condições de queima do engobe na empresa. Desta forma, optou-se pela adição de somente 25% de lodo ao engobe.

Analisando-se as Tabelas 1 e 2 em função da porcentagem de lodo adicionado ao engobe, percebe-se a considerável variação dos resultados com a queima para os maiores teores de lodo adicionado ao engobe, mas a adição de até 25% do lodo no engobe não altera substancialmente as propriedades de interesse para produção do engobe. Por outro lado mostra que uma redução do teor de engobe em todas as composições implicará em uma diminuição de gastos, Tabela 3.

O engobe formulado a partir da adição de 25% de lodo foi preparado de acordo com parâmetros de processamento industrial da empresa, como mostra a Tabela 4. Pode-se perceber que não há variação significativa entre os parâmetros industriais e de formulação para o engobe modificado (25% adição de lodo). Desta forma, percebe-se que é possível substituir ou diminuir alguma matéria-prima por lodo industrialmente utilizado para produzir engobe de boa qualidade.

Mesmo não existindo variações significativas entre os parâmetros dos engobes padrão e formulado, percebe-se que a suspensão do engobe modificado apresenta maior tempo de escoamento, com aumento de 11,5%. Isso indica que a viscosidade é maior, necessitando de cuidados durante sua aplicação ou mesmo sua modificação por meio de adição de água ou defloculantes para evitar defeitos de superfície.

A Tabela 5 mostra a caracterização de algumas propriedades, segundo a norma NBR 13818/1997⁷, das placas cerâmicas fabricadas industrialmente com a utilização do engobe com adição de 25% de lodo. Os resultados mostram a média de cinco corpos-de-prova para cada ensaio realizado.

Analisando-se os resultados da Tabela 5, a classe GLA designa um produto esmaltado (G = glazed), atacado com produtos químicos de baixa concentração (L = low), sendo que o produto não sofreu efeitos visíveis do ataque químico (classe de resistência química A).

A classe de limpeza 5 corresponde à maior facilidade de remoção da mancha. A dureza 6 na escala Mohs corresponde à dureza do feldspato. Para absorção de água de 5,6% o produto corresponde ao grupo B11a, $3 < Abs \leq 6$, o que corresponde a um semi-grês. Com relação à tonalidade, a classe A significa que o material não apresentou diferença de tonalidade (mancha d'água) após 60 minutos de imersão em água. Com relação à resistência ao gretado, um produto que não gretou em três ciclos corresponde a um material com longa durabilidade ao gretado. Uma expansão por umidade de 0,05 mm.m⁻¹, com máximo de 0,1 mm.m⁻¹, mostra que o produto não apresentaria problemas ao ser usado em fachadas.

Finalmente, analisando-se a Figura 1 onde são mostradas as curvas espectrais obtidas para o engobe padrão e para o engobe com adição de 25% de lodo, pode-se perceber que não há variação significativa na reflexão da luz para todos os comprimentos de onda analisados, ou seja, o engobe modificado com adição de 25% de lodo não apresenta alteração significativa da cor em relação ao engobe padrão.

Entretanto, é possível verificar que o engobe com adição de 25% de lodo, aplicado sobre um produto semi-grês apresenta uma tonalidade um pouco mais clara ($\Delta L^* = 0,35$) que o engobe padrão (coordenadas colorimétricas $L^* = 89,99$, $a^* = 0,41$, $b^* = 1,72$). O engobe com 25% de lodo também apresentou valores negativos de a^* e b^* , ($\Delta a^* = -0,25$ e $\Delta b^* = -0,29$) indicando a diminuição do vermelho e do amarelo na coloração final do engobe formulado. Deve-se ressaltar que uma variação de até $\Delta E_{LAB} = 0,5$ não pode ser observada pelo olho humano. O engobe modificado com adição de 25% de lodo apresentou uma variação máxima de $\Delta E_{LAB} = 0,55$ para quatro amostras analisadas, com três leituras em cada amostra.

4. Considerações Finais

Os resultados comprovam ser perfeitamente viável a utilização de resíduos da ETE (lodo), formando lotes de 3000 kg antes de liberação como matéria-prima para o processo de fabricação de revestimentos cerâmicos. Além disso, o processo para a transformação do resíduo é compatível com as plantas cerâmicas atuais, viabilizando sua introdução na indústria sem modificações nos layouts. Outra observação relevante refere-se ao limite máximo permitido de adição de lodo ao engobe, sem provocar modificações significativas nas propriedades finais do produto queimado, o que torna a planta de reaproveitamento compatível com a quantidade de lodo gerado.

A reintrodução de até 25% de lodo no engobe não acarreta alterações significativas nas condições de processamento e nas características do produto final. Esta solução de reciclagem constitui um recurso interessante de reaproveitamento do resíduo gerado, evitando despesas de transporte e deposição em aterro sanitário e reduzindo o consumo de recursos minerais e naturais.

Referências

1. CASAGRANDE, M. C. et al. Reaproveitamento de resíduos sólidos industriais: processamento e aplicações no setor cerâmico. *Cerâmica Industrial*, São Paulo, v. 13, n. 1/2, p. 34-37, 2008.

2. DUARTE, A. C. L. **Incorporação do lodo de esgoto na massa cerâmica para a fabricação de tijolos maciços**: uma alternativa para a disposição final do resíduo. 2008. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária)-Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.
3. COSTA, M. G. et al. Reutilização in situ das lamas residuais de uma indústria cerâmica. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 7, n. 5, p. 44-50, 2002.
4. FERNANDES, P. F et al. Reciclagem do lodo da estação de tratamento de efluentes de uma indústria de revestimentos cerâmicos. Parte 1: Ensaios industriais. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 8, n. 2, p. 26-34, 2003a.
5. FERNANDES, P. F et al. Reciclagem do lodo da estação de tratamento de efluentes de uma indústria de revestimentos cerâmicos. Parte 2: Ensaios industriais. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 8, n. 4, p. 26-32, 2003b.
6. MARTINS, C. A. et al. Metodologia para avaliação da possibilidade de incorporação de resíduos industriais em massas cerâmicas conformadas por extrusão. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 10, n. 4, p. 32-34, 2005.
7. ZACCARON, V. (Org.). **Curso de noções básicas de cerâmica**. Cocal do Sul, 2005.
8. PRACIDELLI, S. Estudo dos esmaltes cerâmicos e engobes. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 13, n. 1/2, p. 8-20, 2008.
9. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13818**. Placas cerâmicas para revestimento: Especificação e métodos de ensaios. Rio de Janeiro: ABNT, 1997. 78 p.