

I-121 - VALORIZAÇÃO DE RESÍDUO DE ETA NA COMPOSIÇÃO DE MASSA CERÂMICA ARTÍSTICA DE ALTA TEMPERATURA

Vívian Ane Lopes Cabral⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa. Mestre e Doutora em Engenharia Civil, área de concentração Sanitária e Ambiental, pela Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Rafael Kopschitz Xavier Bastos⁽²⁾

PhD em Engenharia Sanitária. Professor do Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa.

Matheus Quintão Braga

Engenheiro Ambiental.

Endereço⁽¹⁾: Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Civil. Viçosa-MG. 36570-900. Telefone: 31 3899 2356. Fax: 31 3899 1481. Email: ane.cabral@yahoo.com.br

RESUMO

Buscando contribuir com mais uma alternativa para valorização de resíduo de ETA em cerâmica, neste trabalho foi utilizado planejamento experimental de misturas para avaliar a viabilidade técnica de incorporação do lodo da ETA UFV após condicionamento químico à massa cerâmica líquida (barbotina cerâmica) para produção de cerâmica artística de alta temperatura (grés). Uma das vantagens é a de incorporar o lodo úmido, dispensando a onerosa etapa de desidratação.

Foram produzidos, em moldes de gesso, corpos de prova com diferentes composições, sinterizados a duas temperaturas (1000 °C e 1200 °C), para ensaios de resistência à flexão, absorção de água e retração linear total. Avaliou-se o ajuste dos dados coletados aos modelos canônicos de mistura, através da ANOVA e teste *t* de Student.

Nas condições estudadas, a incorporação do lodo dispensou a dosagem de defloculante, favoreceu a estabilidade da suspensão e praticamente não interferiu nas propriedades cerâmicas.

PALAVRAS-CHAVE: Lodo de ETA, Reciclagem, Cerâmica Artística de Alta Temperatura.

INTRODUÇÃO

O aproveitamento de lodo de ETA tem sido estudado em diversas aplicações, com destaque para os materiais de construção civil e, particularmente, a cerâmica vermelha. Isso pelo fato das massas argilosas utilizadas como matéria-prima serem, por natureza, heterogêneas e, por sua vez, dos lodos de ETA possuírem composição física, química e mineralógica semelhante às dos materiais utilizados em cerâmica (DIAS et al. 2004; OLIVEIRA et al. 2004; TARTARI, 2008; TEIXEIRA et al. 2011; SILVA et al. 2015). Por outro lado, a incorporação de lodo de ETA em matrizes cerâmicas, bem como em outras matrizes, pode levar a alterações importantes nas propriedades físicas e mecânicas do produto.

Os efeitos da incorporação de lodo de ETA em cerâmica, principalmente o aumento de porosidade e de incidência de “coração negro”¹ na peça, apontam para a necessidade de beneficiamento do lodo antes do uso. A forma de incorporação do resíduo também parece ser um desafio. Na maioria das pesquisas é feita a secagem completa do lodo antes da incorporação na matriz cerâmica, o que por si só já é um problema, devido à característica de difícil desidratação de lodos de ETA conferida pelo coagulante químico utilizado no tratamento da água. Além disso, a secagem promove a formação de torrões de lodo altamente estáveis e de difícil desagregação.

Apesar de, em tese, existir um grande potencial a ser explorado, devido aos menores requisitos de resistência mecânica dos produtos (o que permitiria incorporar mais resíduo) e maior valor agregado ao lodo, pouca atenção tem sido dada até o momento ao aproveitamento de lodo de ETA em cerâmica artística, ornamental ou

¹ Coração negro é um defeito muito conhecido na cerâmica vermelha; caracteriza-se por manchas negras ao longo da seção transversal da peça, que aparecem após a queima, e que podem comprometer qualidade técnica (resistência mecânica) e estética da cerâmica.

utilitária. Assim, sob a hipótese de apresentar vantagens comparativas em relação a outros usos já bem explorados, no presente trabalho avaliou-se a incorporação do lodo da ETA UFV na composição de massa cerâmica artística líquida (barbotina cerâmica) para conformação de peças por colagem em moldes de gesso (ORTEGA, s.d.) e queima em alta temperatura, o que confere qualidade superior à cerâmica (grés) (GOMES, 1988; NORTON, 1973). Como se trata de um produto multicomponente, aplicou-se abordagem estatística de planejamento experimental de misturas para avaliar a incorporação do lodo a misturas dos materiais convencionalmente utilizado em formulações de barbotina. Antes disso, buscando o manejo integrado do resíduo, foi feita alcalinização com hidróxido de sódio como forma de beneficiamento do lodo do decantador (sem secagem) para o uso em cerâmica. Destaca-se que a proposta não envolve o desaguamento do lodo, que foi utilizado úmido, entrando também como fonte de água para a massa.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram coletadas amostras do lodo do decantador da ETA UFV, em diferentes pontos, através de sistema de sifão feito com mangueira de 1". Como o lodo já estava armazenado no decantador há mais de seis meses, material coletado apresentou concentração de sólidos de 3 %, típica de lodo adensado. Neste material foi feito tratamento visando remoção de matéria orgânica e hidróxido de alumínio amorfo, identificados como componentes deletérios para cerâmica. O tratamento consistiu na alcalinização com 10 % de solução de hidróxido de sódio 1 N. Após a aplicação da base, com agitador mecânico foi feita a mistura da suspensão a 100 rpm por 20 minutos, para que a reação de solubilização de alumínio e matéria orgânica ocorresse. Após a reação, o sobrenadante, rico em matéria orgânica e alumínio em solução, foi retirado. O lodo residual deste tratamento, com as características apresentadas na Tabela 1, foi utilizado na produção de barbotina do presente estudo. O teor de sólidos deste lodo tratado foi de 6,1 %. Os demais ingredientes da barbotina foram fornecidos pela Minasolo – Comércio e Representações Ltda., adquiridos em pó, com granulometria fina, prontos para uso: caulim (MHY-325), argila São Simão (MSS-325), quartzo (MCQ-325) e feldspato potássico (MCK-325).

Tabela 1: Composição química e tamanho de partícula do lodo da ETA UFV beneficiado

SiO₂	34,20%
Al₂O₃	35,53%
Fe₂O₃	22,39%
TiO₂	1,21%
CaO	0,46%
MgO	0,20%
Na₂O	4,92%
K₂O	0,30%
MnO	0,42%
P.F.*	19,55%
D₅₀	1,12 µm
D₉₀	2,30 µm

*Perda ao fogo medida a 950 °C ± 50 °C; D₅₀: diâmetro médio; D₉₀: diâmetro máximo de 90 % das partículas.

O delineamento do experimento foi do tipo centroide-simplex com quatro componentes (lodo, argilas, quartzo e feldspato de potássio) e uma variável de processo (temperatura de sinterização), estudada em dois níveis: 1000°C e 1200°C, codificados, respectivamente, como -1 e 1. O delineamento foi inteiramente casualizado (DIC), sem repetição, totalizando 15 misturas e duas temperaturas, ou seja, 30 ensaios.

Foram avaliadas três respostas de qualidade cerâmica: (i) resistência à flexão em três pontos (RF), conforme ASTM C674-13; (ii) absorção de água (AA), conforme ASTM C373-17, e (iii) retração linear total (RT). A RT foi determinada através da feitura, com auxílio de paquímetro, de duas marcações nos CP recém produzidos distando 50 mm uma da outra. Após a queima, era feita nova medição, também com paquímetro, da distância

entre marcações. A porcentagem de encolhimento, com base na diferença de leituras, corresponde à retração linear total, conforme Equação 1.

$$RT(\%) = \frac{50 - C_F}{50} \times 100\% \quad (1)$$

Onde:

RT: retração linear total, em %;

C_F: comprimento final medido após secagem e queima, em mm.

Os seguintes procedimentos foram adotados para produção das misturas (barbotinas) do experimento: (i) primeiro o lodo e a água foram pesados em balança analítica com precisão de 0,01 g, em quantidades suficientes para atingir teor de sólidos de 60 % na barbotina final (descontando o que já havia sido adicionado de água com o lodo); (ii) os demais ingredientes secos e em pó foram pesados separadamente; (iii) após homogeneização, os pós foram adicionados, aos poucos, à mistura de água e lodo; (iv) a seguir, os ingredientes e a água foram homogeneizados utilizando *mixer* vertical de uso doméstico modelo SB45 da Black+Decker®; (v) por fim, a suspensão foi passada em peneira ASTM 100 mesh (abertura de malha de 0,149 mm) e acondicionada em potes de plástico com tampa, para não perder umidade. Em alguns casos foi necessário adicionar um pouco mais de água para adequação do tempo de escoamento no viscosímetro Copo Ford n°4 à faixa estipulada de 30 a 40 segundos.

Os corpos de prova (CP) para os ensaios cerâmicos de qualidade foram confeccionados em moldes de gesso, com as seguintes dimensões: 120 x 20 x 10 mm (Figura 1a). Antes da produção dos CP era feito teste de produção de peças em molde de calota esférica com volume de 1 L (Figura 1b), para estimar a velocidade de deposição (VD) e tempo para a desmoldagem. Foram produzidos pelo menos 10 CP por mistura e temperatura de queima: 7 para ensaios de RF e AA (foram utilizados os mesmo CP para os dois ensaios) e 3 para RT. A secagem dos CP teve início ao ar e depois foi completada em estufa a 105 °C ± 5 °C por 12 h. As queimas foram realizadas em forno elétrico Linn High Therm, modelo KK 260, a velocidade de 200°C/h até a temperatura final (conforme delineamento) e patamar de 20 minutos na temperatura final.



Figura 1: Fotografia do molde de gesso utilizado para confecção dos CPs (a) e do molde para testes de produção de peças (velocidade de colagem ou deposição) durante a execução de um dos testes (b).

Devido às restrições de proporção dos componentes (limite inferior e/ou superior diferiu de 0 e 1, respectivamente), o ajuste dos modelos aos dados experimentais foi feito em termos dos pseudocomponentes. Isso porque, além de evitar multicolinearidade alta, como advertem Myers, Montgomery e Anderson-Cook (2009), o modelo em termos de pseudocomponentes permite a interpretação dos resultados, enquanto o modelo para os valores reais não (interferência da magnitude dos valores de proporções dos componentes). Como a construção de um modelo de mistura nada mais é que um caso particular do ajuste por mínimos quadrados, a significância estatística dos modelos foi avaliada pelo teste F da análise de variância (ANOVA), com α de 0,05. A significância de cada termo do modelo ajustado foi avaliada pelo teste *t* de Student, também com α de 0,05. Verificou-se, graficamente, o atendimento às pressuposições dos testes estatísticos utilizando os resíduos studentizados, como indicam Myers, Montgomery e Anderson-Cook (2009).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 são apresentadas propriedades das barbotinas produzidas com as misturas do delineamento e com a barbotina padrão. A adição de lodo favoreceu a estabilidade da barbotina e praticamente não interferiu no processo de colagem; a diferença entre as velocidades de deposição de barbotinas com lodo e da barbotina padrão foi pequena e o tempo de desmolde menor.

Os teores de sólidos e, conseqüentemente, as MEAs das barbotinas tiveram que ser reduzidos para evitar defeitos – na superfície da peça e bolhas no interior – causados por tixotropia excessiva, atribuída à defloculação deficitária apenas com o sódio residual do tratamento do lodo. Para isso ajustou-se o tempo de escoamento em viscosímetro Copo Ford para a faixa de 30 a 40 segundos. Nesta faixa de viscosidade não houve mais problemas com defeitos ou bolhas nas peças. Apesar do teor de sólidos e de MEA serem mais baixos do que da barbotina padrão mantiveram-se próximos de valores praticados para barbotinas convencionais (GOMES et al., 2005).

Tabela 21: Composições e características das barbotinas do delineamento de misturas e da barbotina padrão (BP)

Mistura	Composição				Características					
	Lodo	Argilas ⁽¹⁾	Quartzo	Feldspato	TS (%)	Tempo de escoamento (s)	MEA (g/cm ³)	VD (mm/min)	Tempo desmolde (min)	Estado da peça após desmolde
1	0,40	0,40	0,20	0,00	49	20,69±0,20	1,452	0,40	8	Firme
2	0,15	0,65	0,20	0,00	57	27,68±0,17	1,564	0,64	12	Firme
3	0,15	0,40	0,45	0,00	56	26,71±0,69	1,657	0,67	6	Firme
4	0,15	0,40	0,20	0,25	59	30,26±0,57	1,596	0,62	6	Firme
5	0,28	0,53	0,20	0,00	55	24,57±0,15	1,510	0,49	10	Firme
6	0,28	0,40	0,33	0,00	52	23,20±0,56	1,510	0,57	6	Firme
7	0,28	0,40	0,20	0,13	52	23,69±0,12	1,518	0,49	9	Firme
8	0,15	0,53	0,33	0,00	52	23,52±0,09	1,595	0,62	5	Firme
9	0,15	0,53	0,20	0,13	56	28,88±0,29	1,575	0,66	10	Firme
10	0,15	0,40	0,33	0,13	62	26,71±0,64	1,625	0,72	6	Firme
11	0,23	0,48	0,28	0,00	56	25,28±0,35	1,557	0,52	6	Firme
12	0,23	0,48	0,20	0,08	57	27,17±0,46	1,546	0,50	10	Firme
13	0,23	0,40	0,28	0,08	56	23,42±0,11	1,562	0,64	6	Firme
14	0,15	0,48	0,28	0,08	57	28,87±0,50	1,589	0,70	12	Firme
15	0,21	0,46	0,26	0,06	54	21,88±0,14	1,535	0,60	11	Firme
BP ⁽²⁾	-	0,50	0,25	0,25	69	-	1,719	0,60	15	Firme

(1) 50% de argila São Simão e 50% de caulim; (2) proporção dos componentes em base seca. TS: teor de sólidos; MEA: massa específica aparente. VD: velocidade de deposição da barbotina no molde de gesso; BP: barbotina padrão.

Tabela 3: Delineamento (em pseudocomponentes e variável de processo codificada) e respostas do experimento mistura-variável de processo para incorporação do lodo da ETA UFV em cerâmica artística de alta temperatura

Mistura ⁽¹⁾	Lodo (v ₁)	Argilas (v ₂)	Quartzo (v ₃)	Feldspa- to (v ₄)	Tempe- ratura (z)	RF, MPa ⁽²⁾	AA, % ⁽³⁾	PA, % ⁽³⁾	DA, g/cm ³⁽³⁾	RT, %
1	1	0	0	0	-1	5,46	31,34	43,82	1,40	4,50
2	0	1	0	0	-1	5,84	29,02	41,68	1,44	3,50
3	0	0	1	0	-1	1,99	29,62	41,78	1,41	0,31
4	0	0	0	1	-1	3,66	28,36	41,10	1,45	0,75
5	1/2	1/2	0	0	-1	5,67	29,03	42,56	1,47	3,50
6	1/2	0	1/2	0	-1	3,27	29,59	41,31	1,40	2,75
7	1/2	0	0	1/2	-1	4,23	29,09	42,29	1,45	2,62
8	0	1/2	1/2	0	-1	3,42	29,91	42,33	1,42	1,06
9	0	1/2	0	1/2	-1	4,11	29,97	42,40	1,41	0,31
10	0	0	1/2	1/2	-1	2,73	29,69	42,53	1,43	1,31
11	1/3	1/3	1/3	0	-1	3,97	29,91	43,91	1,47	2,25
12	1/3	1/3	0	1/3	-1	4,40	29,37	42,37	1,44	2,44
13	1/3	0	1/3	1/3	-1	3,47	29,16	41,75	1,43	2,31
14	0	1/3	1/3	1/3	-1	3,21	29,27	42,55	1,45	0,50
15	1/4	1/4	1/4	1/4	-1	3,97	29,1	42,25	1,45	2,50
16	1	0	0	0	1	26,26	20,83	33,94	1,63	6,96
17	0	1	0	0	1	29,15	18,63	31,85	1,71	6,29
18	0	0	1	0	1	13,85	22,22	35,45	1,60	2,70
19	0	0	0	1	1	43,55	0,66	1,54	2,35	11,25
20	1/2	1/2	0	0	1	28,92	20,09	34,01	1,69	4,74
21	1/2	0	1/2	0	1	19,87	21,58	35,52	1,65	4,75
22	1/2	0	0	1/2	1	36,19	6,59	9,36	2,10	11,34
23	0	1/2	1/2	0	1	19,37	20,72	34,07	1,64	4,35
24	0	1/2	0	1/2	1	38,43	5,89	12,25	2,08	9,59
25	0	0	1/2	1/2	1	29,78	5,6	11,68	2,09	2,91
26	1/3	1/3	1/3	0	1	21,01	21,66	35,19	1,62	4,75
27	1/3	1/3	0	1/3	1	36,82	6,86	14,08	2,05	11,15
28	1/3	0	1/3	1/3	1	35,07	6,59	13,40	2,03	8,60
29	0	1/3	1/3	1/3	1	29,77	8,17	16,16	1,98	3,65
30	1/4	1/4	1/4	1/4	1	32,62	10,12	19,61	1,94	9,80
Barbotina padrão						3,50	27,36	39,83	1,46	0,56
						41,09	1,94	4,42	2,27	10,65

(1) Ordem não aleatorizada; (2) média aritmética e desvio-padrão de seis CPs; (3) média de duas determinações da mesma amostra; RF – Módulo de resistência à flexão; AA – absorção de água; PA – porosidade aparente; DA – densidade aparente; RT – retração linear total.

Foi possível produzir cerâmica com todas as misturas da Tabela 3, no entanto, com qualidade diferente. Na Tabela 4 é apresentado, para cada variável de qualidade avaliada, o modelo combinado mistura-variável de processo que melhor se ajustou aos dados experimentais, apresentados na Tabela 2. Os modelos apresentaram bom ajuste (R^2) e todos os pressupostos foram verificados, validando o emprego dos testes estatístico paramétricos (ANOVA e teste t de Student).

Em todos os casos houve interação da temperatura com os componentes da mistura e, de modo geral, os melhores resultados foram na temperatura maior. Quanto à contribuição dos componentes da mistura, embora termos de segunda e terceira ordem apareçam, eles tiveram pouco impacto sobre as respostas; os termos lineares interferiram em maior grau nas propriedades cerâmicas. O que quer dizer que a proporção dos componentes, não a interação entre eles, foi o que determinou as respostas cerâmicas. Assim, quanto mais feldspato maior foi a resistência, independentemente de quais e quanto dos outros componentes foi adicionado.

Tabela 4: Modelos mistura-variável de processo para as respostas avaliadas durante a incorporação de lodo da ETA UFV em cerâmica artística – apenas os termos e respectivos coeficientes significativos

RF				AA				RT			
Termos	Coef.	Termos (cont.)	Coef.	Termos	Coef.	Termos (cont.)	Coef.	Termos	Coef.	Termos (cont.)	Coef..
v_1	15,824	v_{1Z}	10,645	v_1	25,92	v_{1Z}	-5,08	v_1	6,096	v_{1Z}	NS
v_2	17,842	v_{2Z}	11,761	v_2	23,73	v_{2Z}	-5,28	v_2	4,464	v_{2Z}	1,246
v_3	7,879	v_{3Z}	6,049	v_3	25,81	v_{3Z}	-3,58	v_3	1,014	v_{3Z}	1,891
v_4	24,146	v_{4Z}	20,38	v_4	14,51	v_{4Z}	-13,83	v_4	6,185	v_{4Z}	5,598
v_1v_2	NS	v_1v_2Z	NS	v_1v_2	NS	v_1v_2Z	3,19	v_1v_2	13,482	v_1v_2Z	NS
v_1v_3	-5,954	v_1v_3Z	NS	v_1v_3	NS	v_1v_3Z	NS	v_1v_3	NS	v_1v_3Z	NS
v_1v_4	NS	v_1v_4Z	NS	v_1v_4	-13,94	v_1v_4Z	-11,61	v_1v_4	NS	v_1v_4Z	7,344
v_2v_3	NS	v_2v_3Z	-3,914	v_2v_3	2,81	v_2v_3Z	NS	v_2v_3	NS	v_2v_3Z	NS
v_2v_4	NS	v_2v_4Z	5,103	v_2v_4	-4,9	v_2v_4Z	-10,41	v_2v_4	NS	v_2v_4Z	7,317
v_3v_4	NS	v_3v_4Z	NS	v_3v_4	-10,22	v_3v_4Z	-13,83	v_3v_4	8,617	v_3v_4Z	NS
$v_1v_2v_3$	NS	$v_1v_2v_3Z$	NS	$v_1v_2v_3$	NS	$v_1v_2v_3Z$	NS	$v_1v_2v_3$	NS	$v_1v_2v_3Z$	NS
$v_1v_2v_4$	91,988	$v_1v_2v_4Z$	37,354	$v_1v_2v_4$	-28,67	$v_1v_2v_4Z$	-26,72	$v_1v_2v_4$	NS	$v_1v_2v_4Z$	NS
$v_1v_3v_4$	NS	$v_1v_3v_4Z$	92,995	$v_1v_3v_4$	-37,99	$v_1v_3v_4Z$	-23,00	$v_1v_3v_4$	NS	$v_1v_3v_4Z$	NS
$v_2v_3v_4$	NS	$v_2v_3v_4Z$	NS	$v_2v_3v_4$	-30,94	$v_2v_3v_4Z$	NS	$v_2v_3v_4$	NS	$v_2v_3v_4Z$	NS
$v_1v_2v_3v_4$	NS	$v_1v_2v_3v_4Z$	NS	$v_1v_2v_3v_4$	NS	$v_1v_2v_3v_4Z$	NS	$v_1v_2v_3v_4$	NS	$v_1v_2v_3v_4Z$	NS
R^2	0,99			0,99				0,95			
Lodo	0,15	0,21	0,40	0,15	0,21	0,40		0,15	0,21	0,40	
Argilas	0,40	0,46	0,40	0,40	0,46	0,40		0,40	0,46	0,40	
Quartzo	0,20	0,26	0,20	0,20	0,26	0,20		0,20	0,26	0,20	
Feldspato	0,25	0,06	0	0,25	0,06	0		0,25	0,06	0	
Temperatura	1200°C			1200°C				1200°C			
Estimativa	44,53	32,41	26,47	0,68	9,57	20,84		11,78	8,92	6,10	
Erro	0,98	-0,21	0,21	0,02	-0,55	0,01		0,53	-0,88	-0,86	

RF: Módulo de resistência à flexão; AA: absorção de água; RT: retração linear total; R^2 : coeficiente de determinação; NS: não significativo.

A alta temperatura (1200°C) o lodo e a argila praticamente não interferiram nas respostas, se comportando, assim, como componentes inativos. Esta “inatividade” do lodo pode ser associada à baixa contribuição de sólidos – mesmo com o máximo de incorporação tem-se menos de 4 % de lodo no corpo cerâmico.

A composição com o maior nível do feldspato apresentou-se superior na maioria das vezes – exceção apenas no caso da retração, mas que não constituiu problema já que a retração esteve dentro do desejável (abaixo de 15%) em todos os casos estudados. Esse resultado está, muito provavelmente, relacionado à alta refratariedade das matérias-primas, tornando indispensável a dosagem de fundente (feldspato) para a adequada sinterização da massa cerâmica. Ganho de qualidade com aumento do feldspato nas misturas também foi observado em outros estudos de formulação de massas cerâmicas multicomponentes (ZAUBERAS et al. 2004; ALBUQUERQUE et al. 2007). Porém, como será visto adiante na Figura 1 nos CP produzidos com estas misturas foi observado,

além de maior retração, empenamento devido ao excesso de líquido formado durante a queima. Portanto, sua proporção deve ser controlada.

O quartzo, em todas as temperaturas de sinterização e dentro do intervalo de proporção estudado, apresentou, em menor ou maior grau, efeito deletério sobre a resistência mecânica; portanto, deve ser mantido no seu menor nível. Isso sugere que as proporções estudadas deste componente foram altas. Proporções elevadas de quartzo na massa podem comprometer a resistência mecânica devido às tensões e microtrincamento da estrutura causadas pela inversão da sílica de alto volume (β) para a de baixo volume (α) no resfriamento; podem também interferir no empacotamento das partículas, devido ao maior tamanho das partículas do quartzo comparativamente às argilas. No entanto, o quartzo parece ser o componente limitante para a redução da porosidade da massa (e, conseqüentemente, redução de absorção de água) do corpo cerâmico, pois é única fonte de sílica livre que forma, com o feldspato, um líquido vítreo viscoso responsável por fechar os poros, favorecendo a sinterização.

Na Figura 2 apresenta-se fotografia de alguns CPs para ilustrar a cor de queima da cerâmica com lodo. Praticamente não houve diferença na cor de queima entre misturas para as temperaturas de 1000 °C e 1150 °C; apenas a 1200 °C aparecem diferenças na cor, em função do estado de sinterização do corpo cerâmico – em contraste com as cores claras (beges), observou-se que a cor tende ao cinza conforme porcentagem de vitrificação (mais cinza para o mais vitrificado). Isso também foi observado no corpo cerâmico sem lodo, portanto, é uma característica conferida pela argila. Na Figura 3 é apresentada peça esmaltada produzida com 30 % de lodo, 20 % de caulim, 20 % de argila São Simão, 20 % de quartzo e 10 % de feldspato, a composição indicada para produção de cerâmica artística com o lodo.



Figura 2: Corpos de prova sinterizados a 1000°C (em cima), 1150°C (no meio) e 1200°C (em baixo)



Figura 3: Peça produzida com lodo e esmaltada (esmalte negro); sinterização a 1200°C.

CONCLUSÕES

A incorporação do lodo da ETA UFV à barbotina cerâmica influenciou sobretudo na fase de produção e conformação da peça; não interferiu nas propriedades técnicas da cerâmica (resistência mecânica absorção de água e retração linear), devido ao baixo teor de sólidos do lodo incorporado.

A incorporação do lodo dispensa o uso de defloculante químico e torna a barbotina mais estável, não sendo necessária agitação (não decanta); porém, deve-se diminuir o teor de sólidos final da barbotina para evitar defeito (enrugamento) na peça.

A medida do tempo de escoamento da barbotina no viscosímetro Copo Ford foi uma ferramenta adequada para controle de defeito (enrugamento) da peça produzida com lodo (sem defloculante) em moldes de gesso. Este deve estar entre 30 e 40 segundos.

Portanto, o lodo da ETA UFV tratado com hidróxido de sódio pode ser incorporado como substituto da água e defloculante químico da barbotina, desde que o tempo de escoamento no viscosímetro Copo Ford esteja entre 30 e 40 segundos.

O efeito da incorporação do lodo sobre a durabilidade dos moldes de gesso deve ser verificado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALBUQUERQUE, F. R.; SANTOS, I.M.G.; LIMA, S.J.G.; CÁSSIA-SANTOS, M.R.; SOLEDADE, L.E.B.; SOUZA, A.G.; MARTINELLI, A.E. Planejamento experimental aplicado à otimização de massas cerâmicas contendo matérias-primas naturais. *Cerâmica*, v. 53, p. 300-308, 2007.
2. DIAS, L. M.; BATALIONE, G.; MORAIS, F. U.; SOBRINHO, J. F.; RIBEIRO, M. C.; LISBOA, M. S. Alternativa de destinação final do lodo de estação de tratamento de água - Fabricação de blocos cerâmicos. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 29., 2004, San Juan. Anais... San Juan: AIDIS, 2004.
3. GOMES, C.M.; DOS REIS, J.P.; LUIZ, J.F.; DE OLIVEIRA, A.P.N.; HOTZA, D. Defloculação de massas cerâmicas triaxiais obtidas a partir do delineamento de misturas. *Cerâmica*, v. 51, p. 336-342, 2005.
4. MYERS, R.H.; MONTGOMERY, D.C.; ANDERSON-COOK, C.M. Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments. 3rd ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2009.
5. OLIVEIRA, E. M. S.; MACHADO, S. Q.; HOLANDA, J. N. F. Caracterização de resíduo (lodo) proveniente de estação de tratamento de águas visando sua utilização em cerâmica vermelha. *Cerâmica*, v. 50, p.324-330, 2004.
6. ORTEGA, F. S. Processamento de Materiais Cerâmicos – Conformação Fluida de Materiais Cerâmicos. Apostila didática.
7. SILVA, E.M.; MORITA, D. M.; LIMA, A.C.M.; TEIXEIRA, L. G. Manufacturing ceramic bricks with polyaluminum chloride (PAC) sludge from a water treatment plant. *Water Sci. Technol.*, v. 71, n. 11, p. 1638-1645, 2015.
8. TARTARI, R. Incorporação de lodo gerado na estação de tratamento de água Tamanduá, como aditivo em massas para cerâmica vermelha. Foz do Iguaçu, 2008. 124f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Foz do Iguaçu, 2008.
9. TEIXEIRA, S.R.; SANTOS, G.T.A.; SOUZA, A.E.; ALESSIO, P.; SOUZA, S.A.; SOUZA, N.R. The effect of incorporation of a Brazilian WTPs sludge on the properties of ceramic materials. *Applied Clay Science*, v. 53, p. 561–565, 2011.
10. ZAUBERAS, R.T.; GOMES, P.L.S.; DINIZ, C.A.R.; BOSCHI, A.O. Planejamento estatístico de experimentos aplicado ao desenvolvimento de formulações para revestimentos cerâmicos. *Cerâmica*, 50, p. 33-37, 2004.