

Incorporação de resíduo do tratamento de drenagem ácida em massa de cerâmica vermelha

(Incorporation of acid drainage treatment sludge waste into red ceramic products)

S. L. Galatto¹, M. Peterson², N. Z. Alexandre¹, J. A. D. da Costa¹, G. Izidoro³, L. Sorato², M. Levati¹

¹Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas - IPAT, Universidade do Extremo Sul Catarinense-UNESC
Rod. Governador Jorge Lacerda, C.P. 3167, Sangão, SC 88806-000

²Eng. de Materiais e Eng. Ambiental, UNESC

³Departamento de Meio Ambiente da Carbonífera Metropolitana S/A
sga@unesc.net

Resumo

Neste trabalho, apresenta-se o estudo experimental em escala laboratorial e industrial da incorporação de resíduo do tratamento de Drenagem Ácida de Mina (DAM) na formulação de massa de cerâmica vermelha, com substituição parcial das argilas. Foram realizados algumas análises e ensaios nas amostras dos blocos cerâmicos: análise dilatométrica a verde, absorção de água, resistência à compressão, eflorescência de sais solúveis e emissões atmosféricas (MP e SO_x). Os resultados das análises nos corpos de prova ensaiados indicam aumento de resistência a compressão. Os ensaios de eflorescência de sais solúveis indicam maior intensidade de cristalização de sais solúveis na superfície dos corpos de prova e blocos cerâmicos à medida que se aumenta o percentual de resíduo. As análises realizadas nos blocos cerâmicos ensaiados em escala industrial, recomendam uma proporção de até 2,5% de resíduo na massa cerâmica.

Palavras-chave: drenagem ácida de mina, resíduo, resistência à compressão, argila cerâmica.

Abstract

An experimental laboratory and industry scale study of the incorporation of residue from Acid Drainage Mine (ADM) in the ceramics mass, with partial substitution of clays, is presented. Some analyses and assays of the ceramic blocks were carried out: dilatometry, water absorption, compressive strength, efflorescence and emissions (MP and SO_x). The results show an increase of compressive strength. The efflorescence assays indicate greater intensity of crystallization of soluble salts in the surface of the ceramic blocks for increasing residue content. The analyses in the ceramic blocks in industrial scale recommend a ratio of up to 2.5% of waste in bulk ceramics.

Keywords: acid mine drainage, residue, compressive strength, ceramic clay.

INTRODUÇÃO

As atividades industriais geram uma grande variedade de resíduos sólidos e efluentes contendo componentes perigosos, sendo alvo de constante atenção por parte dos órgãos de fiscalização ambiental e de saúde pública, devido aos comprovados riscos que oferecem. Na Bacia Carbonífera Catarinense, localizada no Sul de Santa Catarina, Brasil, os impactos ambientais negativos provocados pelas atividades da mineração de carvão remontam a décadas passadas. As tecnologias aplicadas pelas mineradoras nas etapas de lavra e beneficiamento, as características peculiares do minério, o baixo percentual de carvão extraído das minas (a cada tonelada, cerca de 350 kg de carvão é recuperado, enquanto os 650 kg restantes são rejeitos ricos em pirita) e a falta de atuação dos órgãos de controle ambiental foram os principais

motivos do atual estado de degradação ambiental local [10, 17, 25].

Atualmente são encontrados cerca de 6.200 hectares de áreas degradadas por essa atividade, estando 2/3 dos cursos d'água comprometidos pela Drenagem Ácida de Mina - DAM [1, 12, 16, 18]. Os efluentes de DAM são geralmente caracterizados pelo baixo pH, elevada acidez e por conter metais (Fe, Al, Mn e Zn) e sulfatos [1, 14, 15, 24, 29]. Ocorrem principalmente nas frentes de lavra a céu aberto ou subterrânea, nas bacias de decantação e pátios de armazenamento de minérios, nas pilhas de estéreis e depósitos de rejeitos de carvão mineral contendo pirita e/ou marcassita [14, 16, 23, 25, 28].

A DAM é sem dúvida o mais preocupante problema ambiental que assola a região carbonífera catarinense, especialmente devido a sua agressividade e a intensidade

com que contamina solos e águas, destruindo tanto habitats terrestres como aquáticos. Em razão disso, diversas pesquisas tem sido desenvolvidas nos últimos anos na busca de alternativas de tratamento da DAM proveniente das atividades de mineração de carvão [11, 13-15, 20].

O emprego da flotação por ar dissolvido (FAD) como técnica de tratamento da DAM proporciona o descarte de um efluente com características físico-químicas em atendimento aos padrões ambientais (Resolução do CONAMA 357/2005, Decreto Estadual 14250/1981 e Portaria 017/2002), porém gera um resíduo (lodo desidratado em filtro-prensa) com teor de sólidos em torno de 20% a 30%. Este resíduo geralmente apresenta em sua composição química hidróxidos de ferro, manganês, cálcio, alumínio, magnésio e sílica, entre outros elementos em menor proporção, o que oferece riscos ambientais e custos adicionais para as mineradoras pela disposição em aterros industriais.

Nos últimos anos, diversas pesquisas têm sido realizadas visando a redução do custo tanto na incorporação de resíduos, como na transformação em novos sub-produtos, em atendimento ao crescente interesse mercadológico nesta área de reaproveitamento [9, 19, 21, 26, 27, 30]. Por outro lado, devido à composição química heterogênea e inconstante que o resíduo de DAM apresenta, encontra-se dificuldade para a sua reutilização em alguns segmentos, em especial na cerâmica branca ou avançada, onde há um rígido controle da composição química das matérias-primas (argilas). Na cerâmica vermelha existem maiores tolerâncias no emprego das argilas. Sendo assim, optou-se por este segmento devido a grande quantidade de óxidos de ferro, alumínio e sílica contidos no resíduo. Em contrapartida, uma das propriedades que as argilas cerâmicas apresentam, e que favorecem melhor inertização ao resíduo, é a capacidade de troca de cátions. Isso faz com que os metais encontrados na forma de íons, sejam adsorvidos pela argila em uso, porém não garante a possibilidade de estarem completamente inertes, fazendo-se necessária à realização dos ensaios de lixiviação e solubilização no produto após a adição do resíduo.

O presente trabalho tem como objetivo investigar o comportamento de amostras de blocos cerâmicos ensaiados a partir da incorporação de resíduo na formulação de massa cerâmica, de forma a inertizá-lo, bem como no melhoramento da qualidade final do produto. Foram realizados ensaios de resistência à compressão, dilatométrica, absorção em água, efluorescência (cristalização de sais solúveis) e determinação da concentração de Material Particulado (MP) e Gases Sulfurosos (SO_x) das emissões atmosféricas emitidas na chaminé do forno contínuo da cerâmica (testes realizados em escala industrial).

MATERIAIS E MÉTODOS

Os testes foram desenvolvidos em duas escalas: i) em laboratório realizado no LabCer (Laboratório de Cerâmica Vermelha) pertencente ao SindCer (Sindicato de Cerâmica Vermelha), em Morro da Fumaça-SC; e ii) industrial

realizado na Cerâmica Felisbino Ltda. (Jaguaruna, SC), este último considerando duas fases.

As amostras utilizadas nos dois testes foram: i) solos formados a partir da alteração de siltitos argilosos, oriundos de duas áreas de lavra pertencente à Cerâmica Felisbino (Jaguaruna, SC) e empregados no processo industrial para produção de blocos cerâmicos. A partir da lavra, a argila é transportada e depositada a céu aberto para descansar, ao sol, por aproximadamente três meses. No processo industrial, antes de serem utilizadas, as argilas são pré-misturadas em proporções diferenciadas formando uma argila plástica denominada de “Argila P (padrão)”; ii) resíduo (lodo desidratado em filtro-prensa) proveniente da estação de tratamento de Drenagem Ácida de Mina (DAM) gerada com o beneficiamento de carvão mineral no complexo Esperança e Fontanella, pertencente a Carbonífera Metropolitana S.A. (Treviso, SC), denominado de “Resíduo de DAM”.

A argila padrão foi submetida à análise de fluorescência de raios X. No resíduo de DAM foram realizadas análises de fluorescência de raios X, classificação química, ensaios de enxofre, umidade total e distribuição de tamanhos de partículas. As duas análises de fluorescência de raios X foram realizadas visando determinar os percentuais de óxidos. No laboratório de análises de solos e fertilizantes (IPAT/UNESC), foram realizados ensaios de enxofre, umidade específica (NBR-8293) e classificação química, esta última seguindo as NBR 10004 [5-8]. A distribuição de tamanho de partículas foi realizada obedecendo o método de difração a laser em equipamento CILAS 1064 na faixa entre 0,04 μm e 500 μm /100 classes, a $22,0 \pm 1,0$ °C, tendo como meio água deionizada.

Na Tabela I são apresentadas as formulações utilizadas nos testes em escala laboratorial e industrial.

Nos testes em escala laboratorial a umidade da amostra foi ajustada para 85%, sendo posteriormente definida pela incorporação de 5% e 10% de resíduo de DAM na massa da argila P (padrão). Em posse das amostras de resíduo, iniciou-se a secagem e preparação em temperatura ambiente durante dois dias. A etapa seguinte correspondeu a laminação e extrusão dos corpos de prova utilizando a maromba de laboratório. A laminação tem a função de homogeneizar o resíduo à matéria-prima, enquanto que na extrusão são produzidos os corpos de prova, constituídos de seis furos em formato retangular com 5 cm de largura e 8 cm de altura e comprimento.

Depois de conformados, os corpos de prova foram tratados em estufa por 12 h a 100 °C, para então ser queimado em forno elétrico. O ciclo de queima estabelecido no forno elétrico considerou a duração de 8 h, sendo 3 na etapa de aquecimento, 2 de patamar em temperaturas de 850 °C e 950 °C e 3 h de resfriamento.

Após a queima os corpos de prova foram submetidos aos ensaios de absorção de água e resistência à compressão para comparação dos resultados com as normas, além das análises de efluorescência de sais solúveis e dilatométrica à verde. Embora a NBR 7171 [2] não prescreva nenhuma condição de formação de efluorescência de sais solúveis em blocos cerâmicos, considera-se relevante a determinação das

Tabela I - Composições utilizadas nos testes em escala laboratorial e industrial.
 [Table I - Composition used in tests in laboratory and producer scale.]

Teste	Categoria	Identificação do ensaio	Composição (% em massa)
Laboratorial	Padrão	P (padrão)	100% argila padrão
	Amostra 5%	5% Resíduo	(5% resíduo) + (95% argila padrão)
	Amostra 10%	10% Resíduo	(10% resíduo) + (90% argila padrão)
Industrial (fase 1)	Padrão	P (padrão)	100% argila padrão
	Amostra 2,5%	2,5% Resíduo	(2,5% resíduo) + (97,5% argila padrão)
	Amostra 5%	5% Resíduo	(5% resíduo) + (95% argila padrão)
Industrial (fase 2)	Padrão	P (padrão)	100% argila padrão
	Amostra 2,5%	2,5% Resíduo	(2,5% resíduo) + (97,5% argila padrão)

características qualitativas do produto. O ensaio consistiu em colocar os corpos de prova verticalmente num recipiente de fundo chato, completando com água destilada até o nível de 1,0 a 3,0 cm, sendo que a água era renovada até que o bloco ficasse saturado.

Em posse dos resultados obtidos com os ensaios laboratoriais dos corpos de prova, foram definidas as formulações dos dois testes em escala industrial (Tabela I). No primeiro teste (fase 1) foram incorporados 2,5% e 5% de resíduo à massa de argila padrão. Em cada formulação foram produzidos cerca de 3000 blocos cerâmicos. No segundo teste (fase 2) considerou-se 2,5% de resíduo, sendo produzidos cerca de 100.000 blocos cerâmicos de forma que possibilitasse o monitoramento das emissões atmosféricas.

Dessa forma, o resíduo coletado na estação de tratamento foi transportado, depositado e deixado para descansar durante vinte dias em depósito coberto na cerâmica. Após este período, foi realizada a pré-mistura da argila padrão ao resíduo no próprio pátio do depósito utilizando a concha da carregadeira. No processo industrial da cerâmica, a massa formada com a pré-mistura segue por duas etapas de mistura e laminação. A partir destas etapas a massa homogeneizada segue por correia transportadora até a maromba para extrusão dos blocos cerâmicos com dimensões de 12 cm de largura e 20 cm de altura e comprimento, conforme a NBR 15270 [3, 4].

Depois de conformados, os blocos cerâmicos foram tratados em estufa industrial a 24 h a 80 °C. A queima dos blocos cerâmicos nos dois testes industriais (fases 1 e 2) ocorreu no forno industrial considerando um ciclo de queima com duração de 48 h, sendo 20,5 h na etapa de aquecimento com temperaturas de 120 °C a 780 °C, 7 h de patamar em temperaturas de 780 °C, 800 °C e 840 °C, e 20,5 h de resfriamento, em temperaturas de 840 °C e 380 °C. No teste industrial (fase 2) foram realizadas duas medições atmosféricas: i) a primeira medição com a queima dos blocos cerâmicos produzidos apenas com argila padrão; e ii) a segunda medição com 2,5% de resíduo incorporado a 97,5% de argila padrão.

As amostras dos blocos cerâmicos foram submetidos aos ensaios de absorção de água e resistência à compressão, e a análise de eflorescência de sais solúveis seguindo o mesmo

procedimento realizado nos corpos de prova ensaiados em laboratório.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em termo de composição química, as análises de fluorescência de raios X indicam que as amostras de argila padrão e o resíduo de DAM são ricos em alumínio (21% a 26%), com teores significativos em sílica (49,41%) e Fe_2O_3 (9,69%) na argila padrão. No resíduo são encontradas em maior quantidades óxidos de Fe_2O_3 (21,88%) e CaO (17,67%), e em menor proporção sílica (9,43%) e MgO (9,28%). As concentrações de ferro encontradas no resíduo são compatíveis com sua tonalidade marrom avermelhada. Compostos de enxofre (SO_3) foram encontrados na amostra do resíduo de DAM - cerca de 2,48%, sendo 2,0% na forma de enxofre sulfático, 0,47% de enxofre pirítico e 0,01% de enxofre orgânico. A distribuição dos tamanhos das partículas encontradas na amostra de resíduo, indica a presença de pequenos tamanhos, ou seja, 10% das partículas abaixo de 1,08 μm , 50% abaixo de 4,19 μm , 90% abaixo de 12,18 μm e 100% abaixo de 23 μm , características fundamentais na incorporação da massa cerâmica. As análises físico-químicas do lodo desidratado em filtro-prensa indicam que se trata de resíduo Classe II - A (Não-inerte), apresentando fluoreto (2,90 mg/L) e sulfatos (1691,00 mg/L) acima dos limites determinados na NBR 10004 [5].

Análise dos corpos de prova - escala laboratorial

Os resultados dos ensaios de determinação da absorção de água nos corpos de prova ensaiados (Fig. 1) atendem os limites (máximo e mínimo) estabelecidos pela norma NBR 15270-3 [4]. Por outro lado, embora a amostra com 10% tenha atendido aos limites da norma técnica, houve um acréscimo no percentual de água absorvida em relação aos corpos de prova P (padrão) em 5%, indicando que o aumento na quantidade de resíduo na massa cerâmica pode diminuir a resistência mecânica do bloco.

Na análise dilatométrica a verde, o comportamento dos corpos de prova P (padrão) e com 5% de resíduo foram

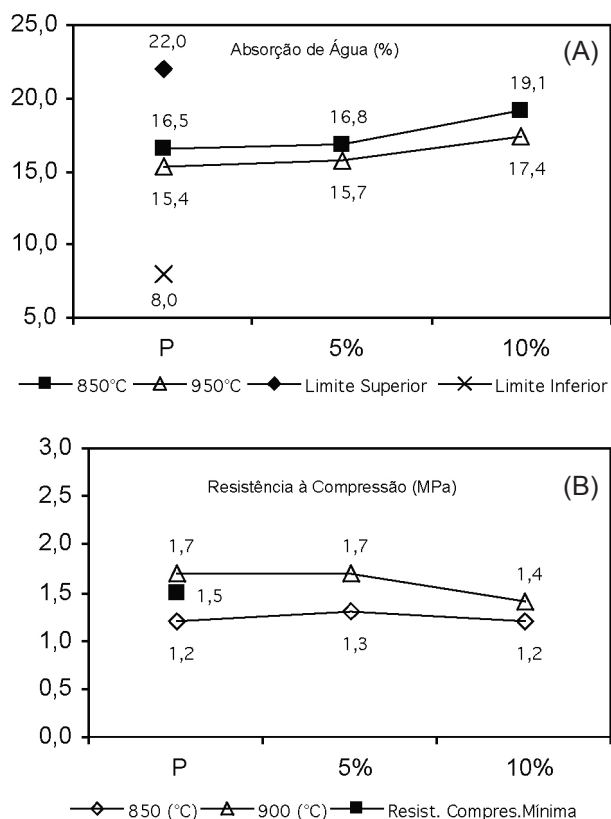


Figura 1: Determinação da absorção de água e resistência à compressão nos corpos de prova ensaiados em escala laboratorial. [Figure 1: Determination the uptake of water and resistance to compression in the bodies of evidence tested on laboratory scale.]

semelhantes. Por outro lado, nos corpos de prova com 10% de resíduo, a retração foi mais acentuada devido ao maior conteúdo em umidade.

Os testes físicos de resistência indicam semelhança nos corpos de prova P (padrão) e 5%, porém com valores inferiores para 10% nas duas temperaturas ensaiadas (Fig. 1). Ainda considerando os corpos de prova P (padrão) e 5% queimados à temperatura de 850°C, ambas amostras apresentam uma resistência inferior a NBR 15270-3 [4].

Entre os inconvenientes resultantes da ação da água nos blocos cerâmicos está a formação de eflorescências (cristalização de sais solúveis). Vários fatores podem promover a formação de sais solúveis nos blocos, sendo os mais comuns os sulfatos de cálcio, magnésio, sódio e potássio. Estes sais podem estar presentes na argila, geralmente sob a forma de gesso, do enxofre contido no combustível, nas argamassas ou nos materiais incorporados durante a produção do material. O movimento da água nos blocos cerâmicos dissolve os sais, trazendo-os à superfície, onde se cristalizam em contato com o ar, provocando o aparecimento de manchas brancas e, sobretudo contribuindo para a deterioração dos revestimentos [22].

Nos corpos de prova P (padrão) e 5%, os resultados de eflorescência de sais solúveis indicam que a formação de manchas esbranquiçadas é menos intensa, sendo possível

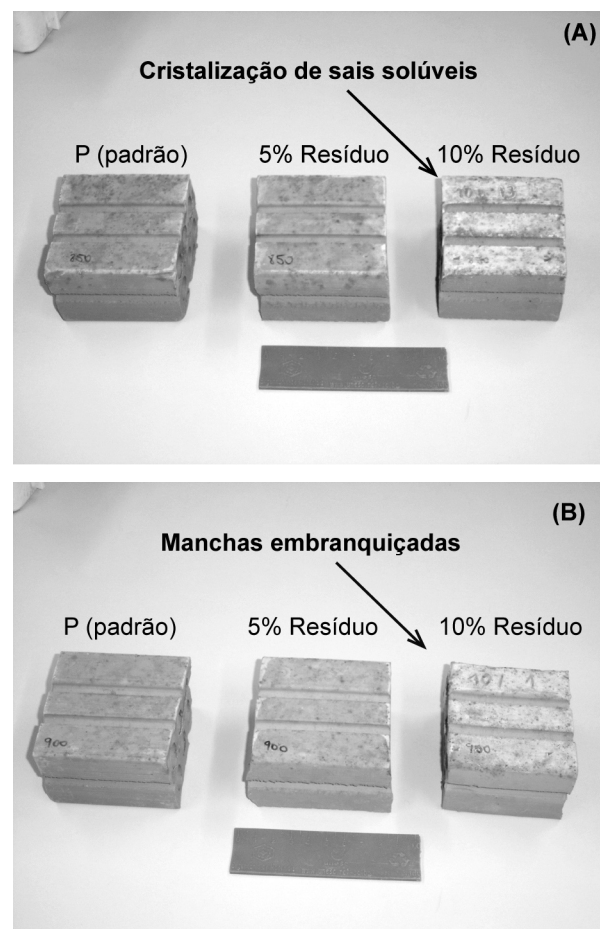


Figura 2: Identificação de manchas esbranquiçadas nos corpos de prova ensaiados em laboratório nas temperaturas de 850 °C (A) e 900 °C (B).

[Figure 2: Identification of whitish spots in the bodies of evidence tested in the laboratory at temperatures of 850 °C (A) and 900 °C (B).]

sua comercialização, ao passo que, à medida que se aumenta o percentual de resíduo, as manchas tendem a aparecer com maior intensidade cobrindo parcialmente a área do bloco, conforme pode-se verificar nos corpos de prova com 10% de resíduo (Figs. 2A e 2B).

As manchas esbranquiçadas identificadas nas amostras são provavelmente formadas a partir do enxofre (contido no resíduo), que reagindo com o cálcio e magnésio (presentes na cal hidratada utilizada para correção do pH do efluente na mineração) formam sulfato de cálcio e magnésio, que são solubilizados depositando-se na superfície dos corpos de prova.

Análise dos blocos cerâmicos - escala industrial (fase 1)

Os resultados da absorção de água nos blocos cerâmicos com 2,5% e 5% de resíduo ensaiados no teste industrial (fase 1), apresentaram valores similares (16,98% e 16,87%), porém menores quando comparados com a amostra P (padrão) que teve 18,90% em absorção de água (Fig.

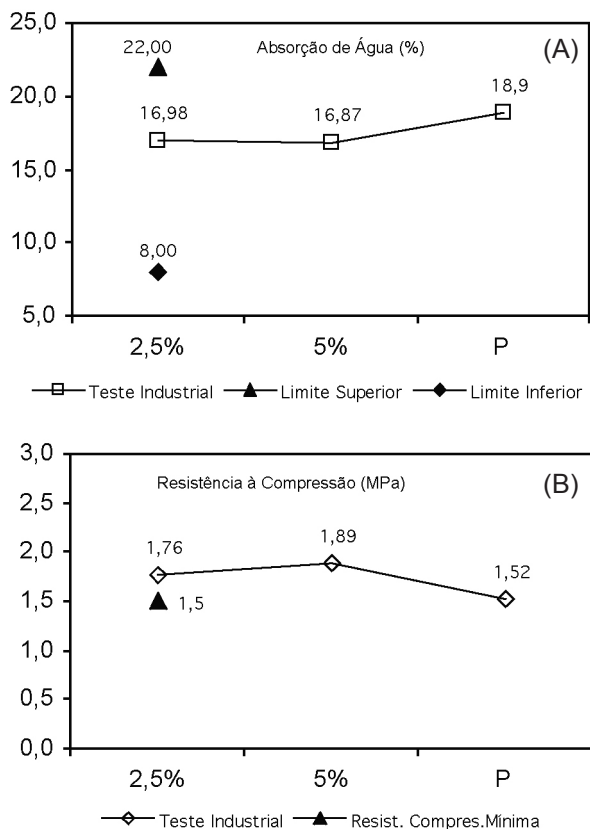


Figura 3: Determinação da absorção de água (A) e resistência à compressão (B) no teste industrial (fase 1).

[Figure 3: Determination the uptake of water (A) and resistance to compression (B) in the producer test (phase 1).]

3A). Para a resistência à compressão, os blocos ensaiados com 2,5% de resíduo apresentaram aumento de 17,30% em relação ao mínimo estabelecido na NBR 15720-3 [4], enquanto que com 5%, o aumento foi de 26% (Fig. 3B). Por outro lado, quando se compara tais resultados de resistência com os blocos cerâmicos produzidos com argila P (padrão), o aumento foi superior, ou seja, 15,79% para os blocos com 2,5%, e 24,34% para os blocos com 5%.

As Figs. 4A e 4B apresentam os resultados macroscópicos de ensaios de efluorescência de sais solúveis nos blocos cerâmicos com 5% de resíduo e P (padrão). Com 5% pode-se observar a presença de pequenas manchas esbranquiçadas na superfície (Fig. 5B), cobrindo parcialmente a área. No bloco cerâmico P (padrão), quase não se verificou manchas esbranquiçadas, apenas foi observada a formação de manchas esporádicas de coloração esverdeada (Fig. 4A), o que pode indicar a presença de sais ferrosos ou desenvolvimento de fungos ou bolor.

As manchas esbranquiçadas identificadas no bloco com 5% de resíduo podem ter sido originadas de sulfatos de cálcio e magnésio, que solubilizados na água em migração foram depositados na superfície. Os sulfatos provavelmente são resultantes dos sais de pirita presentes no efluente e os sais de cálcio e magnésio resultantes dos produtos químicos para correção de pH e precipitação de sais durante

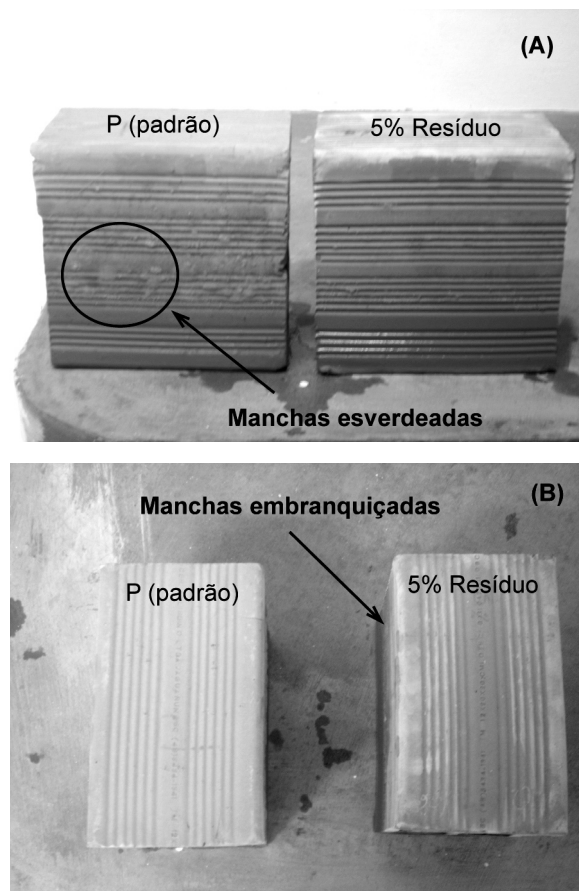


Figura 4: A e B: Identificação de manchas esbranquiçadas nos blocos cerâmicos ensaiados no teste industrial (fase 1).

[Figure 4: A and B: Identification of whitish spots the blocks ceramic tested in the producer test (phase 1).]

o tratamento dos efluentes da mineração. As pequenas manchas esverdeadas identificadas nas amostras do bloco P (padrão), podem ser oriundas das argilas da região, que possuem em sua composição óxidos de ferro e alumínio, conforme análise de fluorescência de raios X realizada na argila.

Análise dos blocos cerâmicos - escala industrial (fase 2)

Conforme indica a Fig. 5A, verificou-se que os índices de absorção de água nos blocos cerâmicos com 2,5% e P (padrão) ensaiados no teste industrial (fase 2) foram similares, permanecendo dentro das faixas (mínima - 8% e máxima - 22%) prescritas pela NBR 15270-3 [4].

Com relação a resistência à compressão (Fig. 5B), os blocos amostrados com 2,5%, apresentaram aumento de 64% em relação à resistência mínima estabelecida na NBR 15270-1 [3]. Por outro lado, mesmo considerando uma melhoria na resistência, os resultados obtidos com a amostra P (padrão) indicaram um aumento de 93% em relação a norma, o que provavelmente pode estar relacionado com as alterações na composição química das argilas utilizadas durante a etapa de pré-mistura para formulação da argila padrão. Além desse fator, observou-se que o processo industrial da cerâmica não

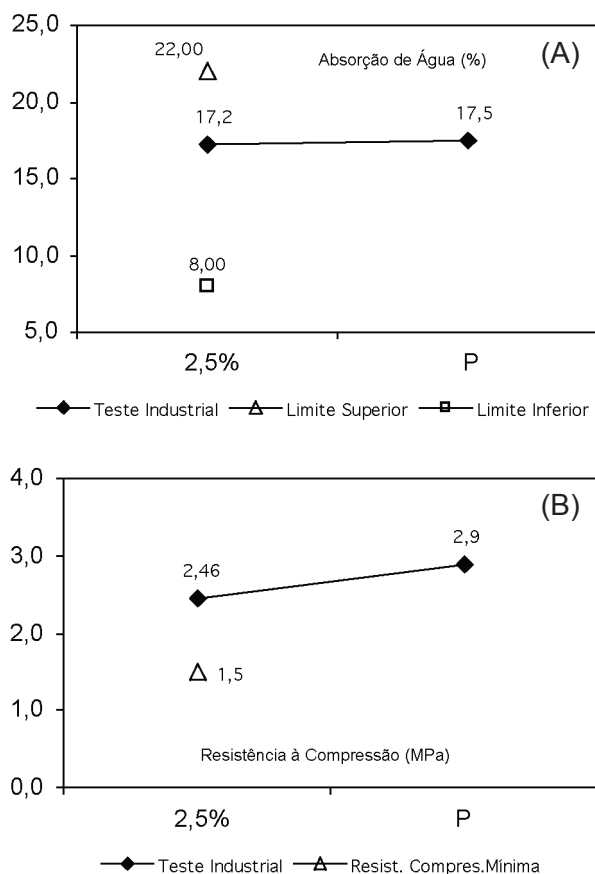


Figura 5: Determinação da absorção de água (A) e resistência à compressão (B) no teste industrial (fase 2).

[Figure 5: Determination the uptake of water (A) and resistance to compression (B) in the producer test (phase 2).]

consegue manter uma padronização na qualidade dos blocos cerâmicos produzidos, ocorrendo um desvio padrão elevado nos resultados dos ensaios físicos dos blocos ensaiados. De qualquer forma, a adição do resíduo não interferiu na qualidade do produto em relação à Norma Brasileira, ou seja, os produtos apresentam valores superiores a 1,5 MPa.

No caso dos ensaios de eflorescência, verificou-se que o bloco ensaiado com 2,5% de resíduo não apresentou nenhuma mancha esbranquiçada (Figs. 6A e 6B).

Na amostra P (padrão), notou-se pequenas manchas esverdeadas e esbranquiçadas (Fig. 6A), porém menos intensificadas do que as amostras analisadas nas Figs. 4A e 4B. Independente disso, pode-se considerar que os resultados obtidos com a incorporação de até 2,5% de resíduo na massa de argila P (padrão) foram satisfatórios e não afetaram a qualidade e o desempenho do bloco cerâmico, ao contrário dos resultados obtidos nas amostras com 5% de resíduo analisadas no teste industrial (fase 1).

O monitoramento das emissões atmosféricas na chaminé do forno contínuo durante as duas medições (primeira medição apenas com argila P (padrão) e segunda medição com 2,5% resíduo + 97,5% argila padrão) realizadas no teste industrial (fase 2), com três amostragens cada uma delas,

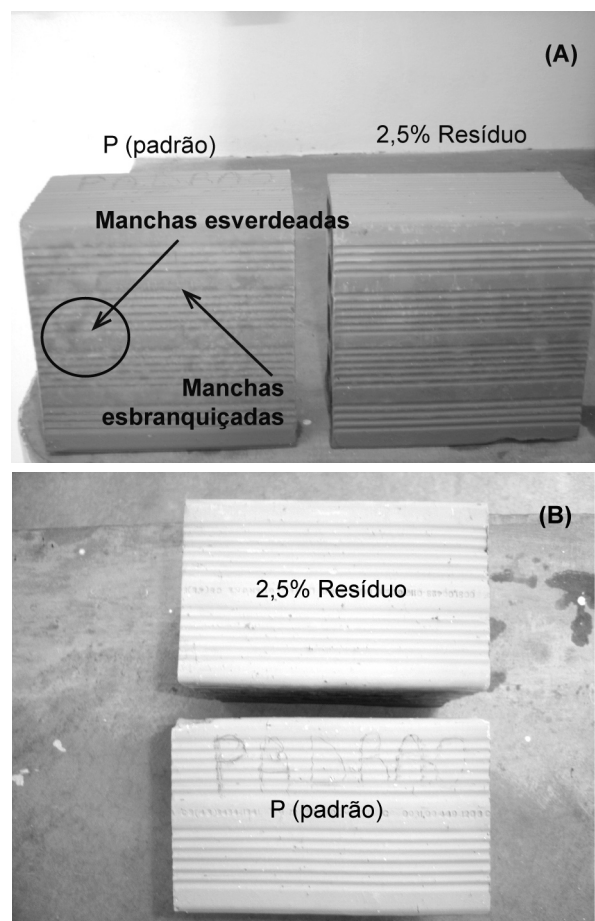


Figura 6: A e B: Amostras dos blocos cerâmicos submetidos ao ensaio de eflorescência de sais solúveis no teste industrial (fase 2).

[Figure 6: A and B: Samples of ceramic blocks subjected to efflorescence test of soluble salts in the producer test (phase 2).]

visou determinar a concentração de Material Particulado (MP) e Gases Sulfurosos (SO_x).

Os valores das concentrações obtidas (Tabela II) foram comparados com a legislação ambiental básica do Estado de Santa Catarina, subseção III, dos padrões de emissão, artigo 32º, onde determina que nos casos para os quais não foram estabelecidos padrões de emissão, deverão ser adotados sistemas de controle de poluição do ar baseados na melhor tecnologia prática disponível. A Fundação de Meio Ambiente (FATMA) de Santa Catarina vem adotando o limite de 110 mg/Nm³ como padrão a ser atendido para emissões de material particulado ou partículas totais em suspensão, segundo resultados obtidos com emissões de indústrias cerâmicas que implantaram sistema de limpeza de gases provenientes da atomização da massa (cerâmica de revestimento).

É importante destacar que houve um aumento das concentrações de Gases Sulfurosos (SO_x) amostrados da primeira medição com relação a segunda (Tabela II). O aumento na concentração de SO_x pode estar associado ao enxofre contido no resíduo (2,5%) incorporado à argila, ressaltando-se que em ambas as medições, os valores emitidos foram

Tabela II - Resultados das amostragens realizadas na chaminé do forno contínuo da Cerâmica Felisbino durante o teste industrial (fase 2).

[Table II - Results of samples taken in the chimney the of the continuous furnace at Cerâmica Felisbino during producer test (phase 2).]

Parâmetros	Concentração média da 1ª amostragem (100% Argila P (padrão)) (mg/Nm ³)	Concentração média da 2ª amostragem (2,5% Resíduo) (mg/Nm ³)	Limites máximos de emissões (mg/Nm ³)
MP	63,83	56,85	110
SO _x	26,84	46,29	100

Tabela III - Balanço de massa visando estimar a concentração dos ânions nos blocos cerâmicos do teste industrial (fase 2), conforme limites da NBR 10004 [5-8].

[Table III - Balance of mass aiming estimate the concentration of anions in the ceramic blocks of producer test (phase 2), as limits of NBR 10004 [5-8].]

Ensaio / Parâmetro	Uni.	Caracterização do resíduo "in natura"	Limite Permitido NBR 10004/2004	Estimativa da caracterização dos blocos com 2,5% de resíduo	Estimativa da caracterização dos blocos com 5% de resíduo	
Ensaio de Solubilização	Fluoreto	mg/L	2,90	1,50	0,0725	0,145
	Sulfato	mg/L	1691,00	250,00	42,270	84,550

relativamente baixos, não comprometendo a incorporação de 2,5% de resíduo na massa de argila P (padrão). Os resultados do monitoramento das medições atmosféricas realizadas no teste industrial (fase 2) foram considerados satisfatórios sob o ponto de vista do controle ambiental.

Considerando a importância da classificação química dos blocos cerâmicos ensaiados com resíduo, foi desenvolvido um balanço de massa (Tabela III) visando estimar a concentração dos ânions que poderiam estar sendo solubilizados, a partir dos resultados da análise de caracterização química realizado no resíduo "in natura".

Os resultados do balanço de massa indicaram que com a incorporação de até 5% de resíduo na massa cerâmica, os parâmetros analisados (sulfato e fluoreto) não ultrapassariam os limites determinados na NBR 10004 [5-8]. Considerando que blocos cerâmicos ensaiados com 5% de resíduo de DAM foram classificados como Classe IIB - Inerte [19], os resultados obtidos nesta pesquisa com a estimativa do balanço de massa (Tabela III), indicam a aplicabilidade dos blocos cerâmicos com 2,5 e 5% de resíduo na construção civil.

CONCLUSÕES

De acordo com as análises realizadas nos blocos cerâmicos em escala industrial, a utilização do resíduo (lodo desidratado em filtro-prensa) para a fabricação de tijolos é recomendada em uma proporção de até 2,5% do resíduo em relação à argila;

O emprego de resíduo em excesso poderá prejudicar

a durabilidade da alvenaria ou do seu revestimento pelo aparecimento de manchas brancas oriundas da cristalização superficial ou interior devido a reação dos sais dissolvidos;

As grandes oscilações nos resultados de caracterização das argilas utilizadas no processo fabril dificultaram uma avaliação mais acurada sobre a elevação da resistência mecânica do produto quando agregado ao resíduo;

Os resultados obtidos, principalmente relativos ao balanço de massa indicaram que os blocos fabricados com até 5% de resíduo, podem ser considerados inertes pela NBR 10004 [5-8]. Desta forma, será possível sua comercialização como um bloco cerâmico de vedação, de acordo com os resultados físicos obtidos. Para uma maior representatividade, sugere-se a realização da Classificação dos blocos cerâmicos conforme NBR 10004 [5-8], quando produzidos em escala industrial com percentuais de resíduo;

Sugerem-se novos testes com experimentos empregando aditivos químicos junto às formulações de resíduo e argila visando diminuir a formação de eflorescências (sais solúveis) nos blocos cerâmicos.

AGRADECIMENTOS

À Carbonífera Metropolitana S.A. pela cessão de amostras de resíduo e financiamento da pesquisa. À Cerâmica Felisbino pela oportunidade na realização dos testes em escala industrial.

REFERÊNCIAS

- [1] N. Z. Alexandre, A. S. J. Krebs, Qualidade das águas superficiais do município de Criciúma, SC, Porto Alegre, RS, CPRM 6 (1995).
- [2] Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 7171, Bloco cerâmico para alvenaria, Rio de Janeiro (1992).
- [3] Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 15270-1, Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação - Terminologia e requisitos, Rio de Janeiro (2005).
- [4] Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 15270-3, Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação, Rio de Janeiro (2005).
- [5] Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 10004, Classificação de resíduos, Rio de Janeiro (2004).
- [6] Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 10005, Ensaio de lixiviação, Rio de Janeiro (2004).
- [7] Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 10006, Ensaio de solubilização, Rio de Janeiro (2004).
- [8] Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 10007, Amostragem de resíduos, Rio de Janeiro (2004).
- [9] R. Dallacort, H. C. L. Júnior, F. L. Willrich, N. Barbosa, Resistência à compressão do solo-cimento com substituição parcial do cimento portland por resíduo cerâmico moído, *Revista Brasileira Eng. Agrícola Ambiental* 6, 3 (2002) 511-518.
- [10] FEPAM, Fundação Estadual de Proteção Ambiental, Meio ambiente e carvão: impactos da exploração e utilização, Cadernos de Planejamento e Gestão Ambiental. n° 2. Porto Alegre (2002) 15-66.
- [11] S. L. Galatto, Flotação por ar dissolvido (FAD) no tratamento da drenagem ácida de mina, (Trabalho de conclusão de curso), Criciúma, UNESC, (2003) 88p.
- [12] GTA, Grupo Técnico de Assessoramento da ACP, Primeiro relatório de monitoramento dos indicadores ambientais, Versão 03, Revisão 02, Criciúma (2007) 162p.
- [13] IPAT-UNESC, Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Pesquisa e desenvolvimento de metodologias para o controle de drenagem ácida e tratamento de efluentes da indústria carbonífera, Relatório técnico, Criciúma (2000) 184p.
- [14] IPAT-UNESC, Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Desenvolvimento de métodos de tratamento de drenagem ácida de minas de carvão, Relatório técnico, Criciúma (2001) 90p.
- [15] IPAT-UNESC, Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Desenvolvimento de sistema de tratamento de drenagem ácida de mina - Estação de embarque Vila Fiorita, Siderópolis - Santa Catarina, Relatório técnico, Criciúma (2001) 38p.
- [16] IPAT-UNESC, Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Diagnóstico Ambiental Mina Malha II Leste - Santa Catarina, Relatório técnico, Criciúma (2002) 121p.
- [17] IPAT-UNESC, Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Diagnóstico Ambiental de Áreas Degradadas pela atividade extrativa de carvão mineral Campo Malha II Oeste Siderópolis - Santa Catarina, Relatório técnico, Criciúma, (2002) 111p.
- [18] IPAT-UNESC, Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Projeto reabilitação ambiental de áreas degradadas pela extração de carvão mineral Campo Morozini Treviso - Santa Catarina, Relatório técnico, Criciúma (2003) 82p.
- [19] IPAT-UNESC, Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Projeto Conceitual: Estudo de aplicação do lodo gerado pelo tratamento, Relatório técnico, Criciúma (2005) 49p.
- [20] IPAT-UNESC, Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Projeto Executivo: Estação de tratamento de drenagem ácida de mina (ETDAM), Relatório técnico, Criciúma (2005) 46p.
- [21] IPAT-UNESC, Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Testes industriais em cerâmica vermelha utilizando lodo do tratamento de drenagem ácida de mina, Relatório técnico, Criciúma (2007) 35p.
- [22] M. Junginger, J. S. Medeiros, Ação da eflorescência de carbonato de cálcio sobre o vidro de placas cerâmicas, In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 9, Foz do Iguaçu, Anais, Foz do Iguaçu: ENTAC (2002).
- [23] A. Kontopoulos, Acid mine drainage control. In: S. H. Castro, F. Vergara, M. A. Sánchez, (Eds.). Effluent Treatment in the mining industry, University of Concepción, Chile (1998) 57-118.
- [24] N. Kuyucak, Treatment options for mine effluents emphasis on acid mine drainage, lime neutralization and passive methods em: (Anais) International Mining and Environment Congress, Clean Technology: Third Millenium Challenge, Lima, Peru (1999) 746-756.
- [25] J. L. F. Machado, N. Peruffo, J. E. S. Lima, Programa Nacional de prospecção para carvão, linhito e turfa: Projeto estudo da vulnerabilidade à contaminação dos mananciais subterrâneos decorrente da extração do carvão mineral, Ministério das Minas e Energia - Departamento Nacional da Produção Mineral - Convênio DNPM/CPRM, Relatório Final da Fase I, 1 (1984) 67-77.
- [26] R. R. Marcello, Incorporação de lodo do tratamento de drenagem ácida de mina de carvão na composição de pigmentos inorgânicos, (Trabalho de Conclusão de Curso), Criciúma, UNESC (2006) 38p.
- [27] M. M. Rolim, W. J. Freire, Resistência à compressão de tijolos fabricados com Solovinhaça concentrada, *Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, 17, 3 (1998) 1-8.
- [28] J. F. Rubio, P. A. Tessele, E. Porcile, Marinkovic, Flotación como proceso de remoción de contaminantes: Avancesy aplicaciones en la flotación por aire isuelto, *Minerales* 57, 243 (2002) 21-28.
- [29] A. Shinobe, A. Sracek, Drenagem ácida e seu impacto ambiental, *Saneamento Ambiental* 48 (1997) 20-22.
- [30] L. Soratto, Incorporação do lodo obtido no tratamento de drenagem ácida de mina de carvão na formulação da massa de cerâmica vermelha, (Trabalho de Conclusão de Curso), Criciúma, UNESC (2005) 55p.
(*Rec. 14/03/2008, Ac. 16/05/2008*)