



MONITORAMENTO DA PRODUÇÃO INDUSTRIAL DE BLOCOS CERÂMICOS CONTENDO 2,5% DE LODO DE FOSFATIZACAO (LF)¹

Feliciane Andrade Brehm²
Rosângela Andréia Bersch³
Marlova Piva Kulakowsk²
Carlos Alberto Mendes Moraes⁴
Andrea Pampanelli⁵
Katiane Roxo⁶

Resumo

A produção industrial de blocos cerâmicos contendo 2,5% de lodo de fosfatização (LF) é resultado de um projeto de pesquisa desenvolvido em três etapas: laboratorial, programa piloto industrial e produção industrial. Após avaliação e validação dos resultados das duas primeiras etapas, a Secretaria Municipal do Meio Ambiente (SMAM) de Porto Alegre, órgão ambiental responsável, liberou a produção e comercialização em escala industrial. Este trabalho tem como objetivo apresentar o monitoramento destas características na produção em escala industrial. Após a amostragem, os blocos cerâmicos com adição de LF, foram testados geometricamente, além de sua resistência à compressão e caracterização ambiental, segundo as normas brasileiras vigentes. Os blocos cerâmicos moldados com 2,5% de LF foram aprovados para utilização nos parâmetros caracterização geométrica e resistência à compressão. Além disso, os blocos foram classificados ambientalmente, como Resíduo Sólido Classe IIA – Não Inerte, o que não inviabilizaria seu uso, pois o material cerâmico tradicional comercializado possui a mesma classificação. Os resultados obtidos demonstraram que o mesmo preenche os requisitos exigidos para sua produção e comercialização.

Palavras-chaves: Lodo de fosfatização; Reciclagem; Blocos cerâmicos; Monitoramento.

MONITORING OF INDUSTRIAL PRODUCTION OF CERAMIC BRICKS CONTAINING 2.5% OF PHOSPHATE SLUDGE

Abstract

The industrial production of ceramic bricks containing 2,5% of phosphate sludge (PS) is the result of a three-phase project: laboratory, industrial pilot study and industrial production. After the evaluation and validation of the results from the two first stages, the Municipal Department of Environment of Porto Alegre, the responsible body, has permitted the industrial-scale production and sale of the bricks. This paper aims to present the monitoring of these characteristics of industrial-scale production. After the sampling, the ceramic bricks with addition of 2,5% of PS were tested geometrically, as well as compressive strength and environmental characterization, according to the current Brazilian standards. The ceramic bricks molded with 2,5% of PS were approved for utilization in geometric characterization and compressive strength parameters. Moreover, the bricks were classified as Solid Waste Class IIA - Not inert (according to the Brazilian Standard NBR 10004), what means its use wouldn't be invalidated, as the traditional ceramic material has the same classification. The results obtained the bricks show that they fulfill the requirements for production and sale.

Key-words: Phosphate sludge; Recycling; Ceramic bricks; Monitoring.

¹ Contribuição técnica ao 65º Congresso Anual da ABM, 26 a 30 de julho de 2010, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Profa. Dra. – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil - Núcleo de Caracterização de Materiais - Universidade do Vale do Rio dos Sinos/UNISINOS.

³ Mestranda – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos/UNISINOS.

⁴ Membro da ABM, Prof. Dr.-Programa de Pós Graduação Engenharia Civil- Núcleo de Caracterização de Materiais- Universidade do Vale do Rio dos Sinos/UNISINOS.

⁵ Eng. Química – Coordenadora de Meio Ambiente – GKN do Brasil Ltda.

⁶ Bióloga - GKN do Brasil Ltda.



1 INTRODUÇÃO

Um dos resíduos sólidos gerados pela indústria metal-mecânica é o lodo de fosfatização (LF). Este resulta do tratamento de efluentes gerados no processo de revestimento fosfático dos metais. O LF em estudo é classificado, segundo a NBR 10004,⁽¹⁾ como resíduo sólido Classe II A – Não inerte, por solubilizar os compostos ferro, manganês, sais de cálcio e magnésio (dureza), sulfatos e surfactantes⁽²⁾. Em caso de disposição inadequada em aterros sanitários e/ou lixão, pode vir a contaminar o solo e os lençóis freáticos com a solubilização dos compostos acima citados.

A necessidade de pesquisas no campo da valorização de resíduos sólidos industriais é uma realidade no contexto brasileiro e mundial. A crescente demanda de sistemas seguros de disposição final tem estimulado o estudo de alternativas tecnológicas e econômicas para que resíduos possam ser introduzidos como matéria-prima, carga e agregados a outros ciclos de produção. Desta forma, é possível diminuir os custos de tratamento e disposição final e oferecer matéria-prima secundária ao mercado.⁽³⁻⁵⁾

O setor de construção civil se caracteriza pelo grande volume de recursos naturais consumidos, podendo ser largamente indicado para absorver resíduos sólidos. Segundo John,⁽⁶⁾ a construção civil é o setor responsável pelo consumo de maior volume de recursos naturais, em estimativas, que variam entre 15% e 50% dos recursos extraídos, além de seus sub-produtos serem grandes consumidores de energia. Por estas razões, é de fundamental importância o desenvolvimento de materiais alternativos que atendam a construção civil.

Algumas alternativas de reciclagem de lodos gerados durante o processo de tratamento de efluentes, na indústria da construção civil, vêm sendo estudadas, tais como: adição para a produção de clínquer de cimento Portland^(7,8) e fabricação de blocos cerâmicos.⁽⁹⁾

Os blocos monitorados são frutos de um projeto de pesquisa desenvolvido em três etapas: laboratorial, programa piloto industrial e produção industrial. Após avaliação e validação dos resultados das duas primeiras etapas, a Secretaria Municipal do Meio Ambiente (SMAM), órgão ambiental responsável, liberou a produção e comercialização em escala industrial, expedindo a licença de operação (LO). A mesma apresentou como premissa o acompanhamento do desempenho mecânico e ambiental destes blocos seis meses após o início da produção em março de 2009. O presente projeto tem como objetivo apresentar os resultados de desempenho obtidos no mês de setembro de 2009.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Caracterização Geométrica dos Blocos

A caracterização geométrica foi realizada para se verificar a homogeneidade da conformação dos blocos e para a realização do ensaio de resistência à compressão. Sua execução ocorreu conforme a NBR 15270-1⁽¹⁰⁾ em lotes compostos por 13 blocos cerâmicos com adição LF, amostrados aleatoriamente na olaria, no mês de setembro de 2009.

Depois da identificação dos blocos, foram determinadas as seguintes medidas: comprimento, largura e altura (Figura 1).



Figura 1. Determinação do comprimento, altura e largura dos blocos.

Com o auxílio de um paquímetro foram determinadas as espessuras (mm) das paredes externas e internas dos blocos cerâmicos (Figura 2).

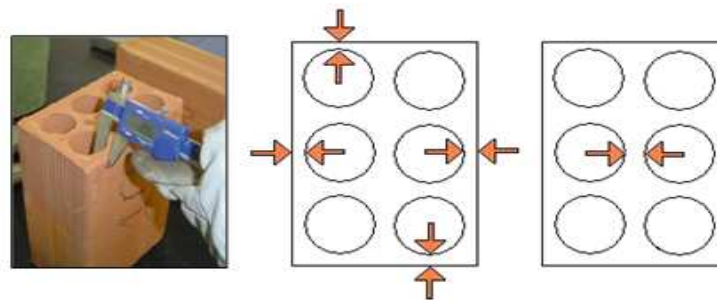


Figura 2. Determinação das espessuras das paredes internas e externas dos blocos com e sem adição de lodo de fosfatização.

Além disso, foram determinados o desvio em relação ao esquadro (Figura 3a) e a planeza das faces (Figura 3b).

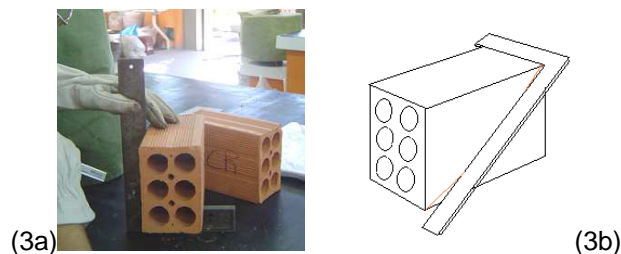


Figura 3. Determinação do desvio em relação ao esquadro (3a) e planeza das faces (3b).

2.2 Resistência à Compressão dos Blocos

Para a determinação da resistência à compressão, foi necessário o capeamento com argamassa (Figura 4) para que a carga exercida sobre o bloco durante o ensaio seja uniformemente distribuída.

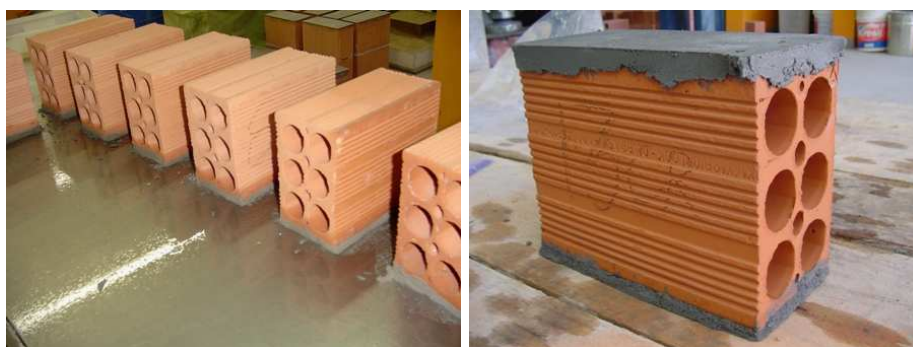


Figura 4. Capeamento dos blocos cerâmicos

O ensaio de resistência à compressão, nos blocos com adição de LF, foi realizado segundo a norma NBR 15270-3.⁽¹¹⁾



Figura 5. Ensaio de resistência à compressão dos blocos cerâmicos.

2.3 Caracterização Ambiental dos Blocos

Os blocos cerâmicos analisados durante a caracterização foram coletados de forma aleatória, durante o processo produtivo na Olaria Brasil Ltda, no mês de setembro de 2009.

Os ensaios de lixiviação NBR 10005⁽¹²⁾ e solubilização NBR 10006⁽¹³⁾ foram realizados na empresa Econsulting Projetos e Consultoria Ambiental Sociedade Simples.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Caracterização Geométrica dos Blocos

Estas medidas foram realizadas a fim de verificar a homogeneidade da conformação dos blocos, avaliando assim, sua qualidade em relação a esses quesitos. Os resultados obtidos para estes parâmetros encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização geométrica do Bioblock

Corpo de Prova	Dimensões (mm)			Espessura Externa (mm)	Espessura Interna (mm)	Desvio em relação ao esquadro	Planeza das faces (mm)
	Comprimento	Largura	Altura				
1 CR	190	90	140	9,35	8,2	0,3	0,3
2 CR	190	92	142	9,46	7,97	0,5	0,3
3 CR	189	90	140	9,1	8,26	0,5	0,4
4 CR	188	92	141	9,37	8,0	0,4	0,4
5 CR	190	91	141	9,5	8,19	0,2	0,2
6 CR	188	91	141	9,19	8,17	0,2	0,2
7 CR	185	91	141	9,38	7,97	0,3	0,1
8 CR	191	91	142	9,54	8,26	0,3	0,2
9 CR	190	90	140	9,45	8,21	0,3	0,2
10 CR	187	91	141	9,4	7,88	0,4	0,1
11 CR	189	90	141	9,29	8,21	0,5	0,3
12 CR	187	92	142	9,79	7,98	0,3	0,3
13 CR	186	91	142	9,41	8,24	0,5	0,3
Média	188,5	90,9	141	9,4	8,11	0,36	0,25



As dimensões de fabricação de blocos cerâmicos de vedação, estabelecidas pela norma NBR 15270-1⁽¹⁰⁾ são:

- comprimento: 190 mm;
- largura: 90 mm; e
- altura: 140 mm.

Em relação a estas dimensões, a norma NBR 15270-1⁽¹⁰⁾ estabelece que a tolerância dimensional individual das grandezas (largura, altura e comprimento) pode apresentar uma variação de ± 5 mm. Existe também uma tolerância em relação à média destas grandezas, que pode apresentar uma variação de ± 3 mm

Analisando-se a tabela 1, é possível notar que tanto as medidas individuais, quanto a média das grandezas dos blocos com adição de lodo de fosfatização, não ultrapassaram a variação estabelecida pela norma.

Os blocos cerâmicos moldados com 2,5% de lodo de fosfatização foram aprovados para utilização no parâmetro caracterização geométrica.

3.2 Resistência à Compressão dos Blocos

Os resultados obtidos para a resistência à compressão dos blocos são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Resistência à compressão do Bioblock

Corpo-de-prova	Tensão (MPa)
1	3,8
2	2,8
3	4,1
4	2,4
5	1,7
6	2,7
7	3,8
8	3,3
9	3,6
10	2,7
11	2,9
12	2,1
13	2,5
Média	3,0

De acordo com a norma NBR15270-3,⁽¹¹⁾ os valores mínimos de resistência à compressão atingidos pelos blocos cerâmicos devem ser $\geq 1,5$ MPa. Além disso, a norma determina que para ser aceito, um lote de amostragem simples (composto por 13 corpos-de-prova) deve apresentar no máximo duas unidades não conformes.

Analisando-se a Tabela 2, é possível notar que nenhum dos blocos ensaiados apresentou resistência à compressão abaixo do exigido pela norma, apresentando um valor médio para esta característica de 3,0 MPa.

3.3 Caracterização Ambiental dos Blocos

Os resultados obtidos para o ensaio de lixiviação para as amostras estudadas, encontram-se na Tabela 3.

**Tabela 3.** Resultados obtidos para o ensaio de lixiviação

Parâmetros	Bloco com Lodo de Fosfatização	Limite de detecção da técnica	Limite Máximo NBR 10004 ⁽¹⁾
Arsênio (µg/L)	< 1,5	1,5	1,0 (mg/L)
Bário (mg/L)	< 0,5	0,5	70 (mg/L)
Cádmio (mg/L)	< 0,005	0,005	0,5 (mg/L)
Chumbo (mg/L)	< 0,005	0,005	1,0 (mg/L)
Cromo total(mg/L)	< 0,003	0,003	5,0 (mg/L)
Mercúrio (µg/L)	< 0,05	0,05	0,1 (mg/L)
Prata (mg/L)	< 0,0015	0,0015	5,0 (mg/L)
Fluoreto (mg/L)	0,945	zero	150 (mg/L)
Selênio (µg/L)	< 2,0	2,0	1,0 (mg/L)

Na Tabela 3, nota-se que nenhuma das amostras estudadas apresentou lixiviação acima dos limites permitidos pela norma NBR 10004,⁽¹⁾ não sendo caracterizados como resíduos sólidos Classe I – Perigosos.

Os resultados obtidos para o ensaio de solubilização para as amostras estudadas em escala industrial encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4. Resultados obtidos para o ensaio de solubilização

Parâmetros	Bloco com Lodo de Fosfatização	Limite de detecção da técnica	Limite Máximo NBR 10004 ⁽¹⁾
Alumínio (mg/L)	0,263	0,2	0,2 (mg/L)
Arsênio (µg/L)	< 1,5	1,5	0,01 (mg/L)
Bário (mg/L)	< 0,5	0,5	0,7 (mg/L)
Cádmio (mg/L)	< 0,005	0,005	0,005 (mg/L)
Sódio (mg/L)	2,251	0,01	200 (mg/L)
Cobre (mg/L)	< 0,0015	0,0015	2,0(mg/L)
Zinco (mg/L)	< 0,0015	0,0015	5,0 (mg/L)
Chumbo (mg/L)	< 0,005	0,005	0,01(mg/L)
Cromo total (mg/L)	< 0,003	0,003	0,05 (mg/L)
Ferro (mg/L)	0,411	0,03	0,3 (mg/L)
Manganês (mg/L)	< 0,0015	0,0015	0,1(mg/L)
Mercúrio (µg/L)	< 0,05	0,05	0,001(mg/L)
Fenol (mg/L)	< 0,001	0,001	0,01 (mg/L)
Nitrato (mg/L)	0,201	0,04	10,0 (mg/L)
Cianeto (mg/L)	< 0,0003	0,0003	0,07 (mg/L)
Sulfato (mg/L)	13,369	1,0	250,0 (mg/L)
Surfactantes (mg/L)	< 0,01	0,01	0,5 (mg/L)
Cloreto (mg/L)	4,6	Zero	250,0(mg/L)
Fluoreto (mg/L)	1,717	Zero	1,5 (mg/L)
Prata (mg/L)	< 0,0015	0,0015	0,05 (mg/L)
Selênio (µg/L)	< 2,0	2,0	0,01 (mg/L)

Observando-se os resultados obtidos para a amostra estudada, é possível afirmar que ferro, alumínio e fluoretos solubilizaram. Isto já era esperado, pois o LF contém os mesmos elementos na sua composição química. Cabe salientar que, alumínio, ferro e fluoretos⁽¹⁴⁾ fazem parte da composição química da argila, matéria-prima utilizada para a confecção de blocos cerâmicos.

Os resultados de caracterização ambiental do produto obtido com 2,5% de adição classificam o mesmo como Resíduo Sólido Classe IIA – Não Inerte segundo a norma NBR 10004.⁽¹⁾ Contudo, esta caracterização não inviabilizaria seu uso, pois o

material cerâmico comercializado pela empresa que cedeu as amostras (Olaria Brasil Ltda) possui a mesma classificação, testado durante a etapa de produção em escala piloto industrial.

4 CONCLUSÃO

Com relação aos resultados obtidos é possível fazer as seguintes considerações finais:

- para a caracterização geométrica, demonstram que as grandezas (largura, altura e comprimento), tanto as medidas individuais, quanto a média das grandezas dos blocos com adição de lodo de fosfatização, não ultrapassaram a variação estabelecida pela norma NBR 15270-1;⁽¹⁰⁾
- quanto a resistência à compressão mínima dos blocos exigida pela norma NBR15270-3⁽¹¹⁾ (1,5 MPa), os blocos com adição de LF apresentaram um valor médio para esta característica de 3,0 MPa; e
- os resultados obtidos para a caracterização ambiental dos blocos contendo LF, mantém a mesma classificação dos blocos referência (Resíduo Sólido Classe IIA – Não Inerte), segundo a Norma NBR 10004.⁽¹⁾

Portanto, a caracterização ambiental, dimensional e estrutural do Bioblock demonstra que o mesmo preenche os requisitos exigidos para sua produção e comercialização.

Além das questões técnicas envolvidas do ponto de vista da qualidade do bloco cerâmico contendo LF e de seu impacto ambiental, é importante ressaltar as vantagens obtidas no desenvolvimento de um produto envolvendo o gerador, o usuário, o órgão ambiental responsável e a própria universidade para garantir qualidade, precisão no monitoramento da produção. Devem ser ressaltados também, os ganhos em termos de mudança de cultura no setor de produção de blocos cerâmicos via olarias, onde a importância de ganhos ambientais é muito recente.

Agradecimentos

Os autores do trabalho agradecem a Olaria Brasil Ltda pela colaboração no desenvolvimento do trabalho, a GKN do Brasil e ao CNPq pelo apoio financeiro.

REFERENCIAS

- 1 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Resíduos sólidos – Classificação: NBR 10004. Rio de Janeiro, 2004
- 2 BREHM, F.A.; Bersch. R.A.; Collatto, D.; Moares, C.A.M.; Kazmierczak, C.; Pampanelli, A.; Roxo, K. Rodrigues, V.; Liedke. E. Reciclagem de lodo de fosfatização como adição em cerâmica vermelha. In: Congresso Anual da ABM, 62, Vitória, 2007. Anais do 62º Congresso Anual da ABM, Vitória, 2007. p.2115-2126.
- 3 TEIXEIRA, C. E. Évolution biochimique des résidus de désencrage dans un contexte de valorisation comme barrière de recouvrement. (Tese de doutorado). Département de génie civil, Université de Sherbrooke, Québec, 2001. 195 p.
- 4 LEIDEL, D.S. Sand reuse: user requirements, modern casting. Ontário, v.83, July, 1993, p. 38-39.
- 5 PAULI, G. Pollution-zéro, les nouvelles grappes industrielles. Écodécision, printemps, p.26-30. 1995

- 6 JOHN, V.M.J. Panorama sobre a reciclagem de resíduos na construção civil. In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2., São Paulo, 1999. Anais. IBRACON, São Paulo, 1999. p.44-55.
- 7 CAPONERO, J. Comportamento da lama de fosfatização no processo de produção de clínquer no processo de produção do clínquer de cimento Portland. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) – Escola Politécnica, São Paulo, SP. 116p. 1999.
- 8 PAIVA S. N. Compósito cimento-lodo de ETE de indústria de papel para aplicação na construção civil. Dissertação de mestrado defendida na Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ) DA Universidade de São Paulo, 2007. 111p.
- 9 GIFFONI, Patrícia de Oliveira and Lange, Liséte Celina. The use of phosphate sludge as an alternative raw material in the manufacturing of bricks. *Eng. Sanit. Ambient.*, Apr./June 2005, vol.10, no.2, p.128-136. ISSN 1413-4152
- 10 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Componentes Cerâmicos Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e requisitos: NBR 15270-1. Rio de Janeiro, 2005.
- 11 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Componentes Cerâmicos Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio: NBR 15270-3. Rio de Janeiro, 2005.
- 12 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Lixiviação de resíduos – Procedimentos: NBR 10005. Rio de Janeiro, 2004.
- 13 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Solubilização de resíduos – Procedimentos: NBR 10006. Rio de Janeiro, 2004.
- 14 SANTOS, P. Ciencia e tecnologia de argilas. 2^a ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1989.