

## PRODUÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS COM ADIÇÃO DE LODO DE FOSFATIZAÇÃO COMO MATÉRIA-PRIMA – ESCALA INDUSTRIAL

**Feliciane Andrade Brehm (1); Rosângela Andréia Bersch (2); Décio Collatto (3); Carlos Alberto Mendes Moraes (4); Vanessa Rodrigues (5); Katiane Roxo (6).**

- (1) Engenharia Mecânica - Núcleo de Caracterização de Materiais - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, Brasil – e-mail: felicianeb@unisos.br  
(2) Gestão Ambiental – Universidade do vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo – Brasil - rosangela.andrea@gmail.com  
(3) Engenharia Civil, Laboratório de Materiais de Construção Civil - Universidade do vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo – Brasil - e-mail: dcollatto@unisos.br.  
(4) - Engenharia Mecânica - Núcleo de Caracterização de Materiais, Universidade do Vale do Rio dos Sinos- São Leopoldo – Brasil - e-mail: cmoraes@unisos.br.  
(5) GKN do Brasil Ltda - Porto Alegre - Brasil - email: vanessa.rodrigues@gkndriveline.com  
(6) GKN do Brasil Ltda - email katiane.roxo@gkndriveline.com

### RESUMO

**Proposta:** O lodo de fosfatização (LF) é um resíduo sólido gerado no tratamento de efluentes do processo de revestimento por fosfatização de aço. Esse resíduo é atualmente disposto em aterro industrial próprio da empresa (ARIP). Uma forma de reciclagem é a sua utilização na construção civil, visto que a mesma é responsável por um grande consumo de recursos naturais, além de seus produtos serem grandes consumidores de energia. Por estas razões, é de fundamental importância o desenvolvimento de materiais que atendam a crescente demanda por matéria-prima na construção civil. **Objetivo:** Este trabalho tem como objetivo adicionar 2,5% de lodo de fosfatização em argila para a fabricação de blocos cerâmicos de seis furos, em escala industrial. **Método:** Inicialmente, foi realizada a caracterização das fases presentes via difração de Raio-X (DRX), seguida da caracterização química qualitativa via análise de fluorescência de Raio-X (FRX). A moldagem dos blocos foi realizada em uma Olaria, localizada na área metropolitana de Porto Alegre. Os blocos cerâmicos obtidos foram caracterizados: física (caracterização geométrica), mecânica (absorção de água, absorção de água inicial e resistência à compressão) e ambientalmente (lixiviação e solubilização). **Resultados:** Os resultados obtidos indicam a viabilidade da reciclagem do lodo de fosfatização para a produção de blocos cerâmicos com seis furos. **Contribuição da pesquisa:** A obtenção de um co-produto com propriedades físicas, mecânicas e ambientais, dentro dos padrões estabelecidos pelas normas vigentes, possibilitará que a empresa geradora tenha a oportunidade de diminuir seus custos de disposição e contribuir com a preservação de recursos naturais não-renováveis.

Palavras-chave: Lodo de fosfatização, blocos cerâmicos e reciclagem, construção civil

## PRODUCTION OF CERAMIC BRICKS WITH THE ADDITION OF PHOSPHATIZATION SLUDGE AS RAW-MATERIAL – INDUSTRIAL SCALE

### ABSTRACT

**Proposal:** The phosphatization sludge is a solid waste generated in the effluent treatment from steel recovering process via phosphatization. Nowadays, this solid waste is disposed in the industrial landfill of the company. One way for its recycling is the civil construction, because this sector is responsible for a great consumption of natural resources and energy to produce its products. As a result of that, it is very important the development of materials which can attend the increasing demand of raw-materials in civil construction. **Objective:** The aim of this work is to add 2.5% of phosphatization sludge in the argilicks with 6 holes in industrial scale. **Method:** Initially, the sludge was characterized via X Ray diffraction analysis to determine the containing phases, and via X Ray

fluorescence analysis to determine the qualitative chemical composition. The bricks molding was carried out in a brick industry located in the great Porto Alegre. The ceramic blocks/bricks were characterized via geometrical analysis, water absorption, initial water absorption and compressive strength. **Results:** the results confirmed the viability of phosphatization sludge recycling in the production of ceramic blocks/bricks of six holes. **Research Contribution:** production of a by-product with physical, mechanical and environmental properties obeying the established standards of the nowadays normalization will contribute to decrease the cost of landfill disposal of the solid waste and also for the preservation of non renewable natural resources.

Key words: phosphatization sludge, ceramic blocks/bricks, recycling, civil construction.

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria metal-mecânica vem sendo cada vez mais pressionada a atender as exigências da legislação ambiental, no sentido de controlar a geração de resíduos e dar-lhes uma destinação adequada. Além disso, o mercado vem exigindo mais dessas empresas quanto ao seu desempenho ambiental, tornando a gestão ambiental uma área muito mais envolvida com a melhoria da qualidade de seus produtos comercializados. Neste sentido, além de minimizarem a geração de seus resíduos, buscando melhorias no seu processo produtivo, a reciclagem externa desses deve ser considerada antes da tradicional decisão de enclausurá-los em aterros industriais.

O LF é gerado no tratamento de efluentes do processo de revestimento por fosfatização do aço. O tratamento é realizado por meio de um processo de tratamento contínuo, constituído de um decantador tipo lamelar, onde é realizado um tratamento físico-químico convencional do efluente. Atualmente, este resíduo é disposto em aterro industrial próprio da empresa geradora (ARIP).

O setor de construção civil se caracteriza, pelo grande volume de recursos naturais consumidos, podendo ser largamente indicado para absorver resíduos sólidos. Segundo John (1999), 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.

O presente trabalho apresenta a potencialidade técnica (em escala industrial) quanto às características: análise química qualitativa via fluorescência de Raios-X, caracterização geométrica, absorção de água inicial, absorção de água, resistência à compressão e caracterização ambiental, de reciclagem do lodo de fosfatização, gerado no tratamento superficial de componentes metálicos da indústria metal-mecânica, como adição em cerâmica vermelha para a produção de blocos cerâmicos de vedação de seis furos.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Moldagem dos blocos cerâmicos com e sem adição (2,5%) de lodo de fosfatização – Escala Industrial

Nesta etapa do trabalho, foram realizados testes em escala industrial. Os blocos foram moldados com adição de 2,5% (Brehm et al, 2007) de lodo de fosfatização in natura, obedecendo ao fluxograma normalmente utilizado para a moldagem de blocos cerâmicos em uma olaria situada em Porto Alegre. O teor de umidade do LF é de 66,18% (Brehm et al, 2007). O resíduo foi adicionado aos poucos, de forma manual, no momento em que a argila passava pela esteira em direção a maromba (extrusora). A adição foi realizada desta forma, a fim de garantir homogeneidade durante a adição e, conseqüentemente, uma distribuição igualitária da quantidade de lodo nos blocos moldados.

Na figura 1, é possível observar as etapas da moldagem destes tijolos.



Figura 1 – Moldagem dos blocos cerâmicos com adição de lodo de fosfatização

## 2.2 Caracterização química qualitativa do LF – Fluorescência de Raio-X

Para que fosse possível determinar a composição química qualitativa do LF, o mesmo foi submetido à análise via FRX (espectrômetro de fluorescência de Raios-X, marca Rigaku, modelo RIX 3100).

## 2.3 Caracterização Geométrica

A caracterização geométrica dos blocos cerâmicos, com e sem adição de lodo de fosfatização, foi realizada segundo a norma NBR 15270-3 (ABNT, 2005). A amostragem estabelecida pela norma NBR 15270-1 (ABNT, 2005) para a execução da caracterização geométrica é composta por 13 blocos cerâmicos.

Depois da identificação dos blocos, foram determinadas as seguintes medidas: comprimento, largura, altura e as espessuras das paredes externas e internas dos blocos cerâmicos. Além disso, foram determinados o desvio em relação ao esquadro e a planeza das faces.

## 2.4 Absorção de Água Inicial

O ensaio de absorção de água inicial foi realizado segundo a norma NBR 15270-3 (ABNT, 2005).

## 2.5 Absorção de Água

O ensaio de absorção de água, nos blocos com e sem adição de LF, foi realizado segundo a norma NBR 15270-3 (ABNT, 2005).

## 2.6 Resistência à Compressão

O ensaio de resistência à compressão, nos blocos com e sem adição de LF, foi realizado segundo a norma NBR 15270-3 (ABNT, 2005).

Para a determinação da resistência à compressão, fez-se necessário a regularização das faces (capeamento), a fim de que a carga exercida sobre o bloco durante o ensaio fosse uniformemente distribuída.

## 2.7 Caracterização Ambiental

As amostras analisadas durante a avaliação ambiental foram: blocos cerâmicos com adição de 2,5% de lodo de fosfatização e blocos cerâmicos sem adição do resíduo (referência). A temperatura usada para a sinterização dos blocos foi a utilizada na olaria (aproximadamente 850°C). Os ensaios de

lixiviação NBR 10005 (ABNT, 2004) e solubilização NBR 10006 (ABNT, 2004) foram realizados na empresa Ecosulting Projetos e Consultoria Ambiental Sociedade Simples.

### 3 ANÁLISE DE RESULTADOS

#### 3.1 Caracterização química qualitativa do LF – Fluorescência de Raio-X (FRX)

A fim de realizar a caracterização química qualitativa do LF foi realizada uma análise via FRX.

Os elementos encontrados foram:

- Majoritário: ferro (Fe)
- Em menor quantidade: cálcio (Ca), fósforo (P), enxofre (S), magnésio (Mg) e zinco (Zn)
- Em quantidade traço: alumínio (Al), silício (Si), cloro (Cl), potássio (K), cromo (Cr), manganês (Mn), níquel (Ni), cobre (Cu) e estrôncio (Sr).

Os elementos encontrados eram esperados devido à composição química dos produtos utilizados durante o processo de fosfatização das peças, assim como, os produtos usados durante o tratamento do efluente resultante deste processo. A análise quantitativa está em desenvolvimento, pois devido à presença de inúmeros elementos, a digestão do LF não está sendo completa, requerendo um estudo aprofundado para garantir a reprodutibilidade de sua análise. A análise química de voláteis requer a construção de aparato especial para a coleta dos gases durante a queima do material cerâmico. Assim como a análise quantitativa, estas caracterizações fazem parte da continuidade do projeto para atender necessidades a serem exigidas na sua transformação como co-produto, avaliadas como sendo importantes para esta segunda etapa e não para o presente estudo da viabilidade técnica e ambiental.

#### 3.2 Caracterização Geométrica

A caracterização geométrica foi realizada a fim de verificar a homogeneidade da conformação dos blocos, avaliando assim, sua qualidade em relação a esse quesito. Os resultados encontram-se nas tabelas 1 e 2.

Tabela 1 – Caracterização geométrica dos blocos sem resíduo

Corpo de Prova	Dimensões (mm)			Espessura Externa (mm)	Espessura Interna (mm)	Desvio em relação ao esquadro	Planeza das faces (mm)
	Comprimento	Largura	Altura				
1 SR	192	92	140	9,56	7,79	0,71	1,29
2 SR	193	92	139	8,825	7,23	0,74	0,72
3 SR	188	90,5	140	8,935	7,39	0,9	0,57
4 SR	192	91	139	9,4975	7,7	0,6	0,78
5 SR	193	91,5	140	9,5975	7,7	1,36	1
6 SR	192	93	140	9,4575	8,56	0,75	1,11
7 SR	191	93	140	8,7375	7,15	1,53	1,22
8 SR	193	92,5	140	9,2675	7,78	0,83	0,61
9 SR	191	92	140	8,885	7,43	1,42	0,94
10 SR	195	93	140	9,1325	7,78	0,8	0,83
11 SR	190	91,5	140	9,495	7,76	0,81	0,7
12 SR	190	91	139	9,445	6,98	0,74	1,21
13 SR	191	91	139	9,38	7,21	0,82	1,16
<b>Média</b>	<b>191,62</b>	<b>91,85</b>	<b>139,69</b>	<b>9,25</b>	<b>7,57</b>	<b>0,92</b>	<b>0,93</b>

Tabela 2 - Caracterização geométrica dos blocos com resíduo

	Dimensões (mm)						
Corpo de Prova	Comprimento	Largura	Altura	Espessura Externa (mm)	Espessura Interna (mm)	Desvio em relação ao esquadro	Planeza das faces (mm)
1 CR	190	91,5	140	9,19	7,45	0,58	0,29
2 CR	195	92	140	9,3975	7,4	1,25	0,62
3 CR	193	92,5	141	9,3575	7,31	1,04	1,29
4 CR	191	92,5	141	9,59	7,24	0,3	0,34
5 CR	193	92,5	141	9,21	6,93	0,63	0,49
6 CR	190	91,5	139	9,3075	7,96	1,56	1,34
7 CR	192	92	140	9,365	7,59	0,94	1,05
8 CR	194	93	141	9,475	7,01	1,26	0,73
9 CR	190	92	140	9,4975	7,82	0,87	1,3
10 CR	190	92,5	140	9,18	7,94	0,75	1,13
11 CR	191	92	141	9,36	7,16	0,58	1,26
12 CR	193	92	140	9,4775	7,49	0,37	1,94
13 CR	192	92,5	140	9,1525	8,17	0,67	1,19
<b>Média</b>	<b>191,85</b>	<b>92,19</b>	<b>140,31</b>	<b>9,35</b>	<b>7,50</b>	<b>0,83</b>	<b>1,00</b>

As dimensões de fabricação de blocos cerâmicos de vedação estabelecidas pela norma NBR 15270-1 (ABNT, 2005) são:

- a) comprimento: 190 mm
- b) largura: 90 mm
- c) altura: 140 mm

Em relação a estas dimensões, a norma NBR 15270-1 (ABNT, 2005) estabelece que a tolerância dimensional individual das grandezas (largura, altura e comprimento) pode apresentar uma variação de  $\pm 5$  mm. Existe também uma tolerância em relação à média destas grandezas, que pode apresentar uma variação de  $\pm 3$  mm.

Analisando-se as tabelas 1 e 2, é possível notar que tanto as medidas individuais, quanto a média das grandezas dos blocos com e sem adição de lodo de fosfatização, não ultrapassaram a variação estabelecida pela norma.

Os valores estabelecidos pela norma NBR 15270-1 (ABNT, 2005) para a espessura interna e externa das paredes dos blocos são, respectivamente, 6 mm e 7 mm. Os resultados obtidos para estas medidas dos blocos com e sem adição do lodo de fosfatização (tabelas 1 e 2) mostram que todos atingiram estes parâmetros.

A norma NBR 15270-1 (ABNT, 2005) estabelece que o valor máximo de desvio em relação ao esquadro deve ser 3 mm. A mesma norma ainda cita, como valor máximo para a planeza das faces o valor de 3mm. Analisando-se as tabelas 1 e 2, é possível verificar que os resultados obtidos para as grandezas ficaram abaixo desses valores (3mm).

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

### 3.3 Absorção de Água Inicial

O ensaio de absorção de água inicial foi realizado para verificar a possibilidade de assentamento dos blocos cerâmicos sem prévio umedecimento. Caso o índice de absorção de água inicial resulte em um valor inferior a  $(30 \text{ g}/193,55 \text{ cm}^2)/\text{mim}$ , os mesmos não precisam ser previamente umedecidos.

Os resultados obtidos para absorção de água inicial dos blocos cerâmicos com e sem adição de lodo de fosfatização encontram-se nas tabelas 3 e 4.

Tabela 3 – Absorção de água inicial para os blocos cerâmicos sem adição de lodo de fosfatização

	Peso (g)		Dimensões (mm)		Dimensões (cm)		Área	Absorção de água Inicial (g)
	Seco	Úmido	c	l	c	l	(cm <sup>2</sup> )	
14 SR	2351,1	2371,9	191	92	19,1	9,2	175,7	22,91
15 SR	2263,2	2277,7	190	92	19	9,2	174,8	16,06
16 SR	2269,9	2286,1	191	91	19,1	9,1	173,8	18,04
17 SR	2255,9	2269,1	190	92	19	9,2	174,8	14,62
18 SR	2268,2	2284,1	189	92	18,9	9,2	173,9	17,70
19 SR	2383	2399,5	194	93	19,4	9,3	180,4	17,70
<b>Média</b>	<b>2298,55</b>	<b>2314,73</b>	<b>190,83</b>	<b>92,00</b>	<b>19,08</b>	<b>9,20</b>	<b>175,57</b>	<b>17,84</b>

Tabela 4 – Absorção de água inicial para os blocos cerâmicos com adição de lodo de fosfatização

	Peso (g)		Dimensões (mm)		Dimensões (cm)		Área	Absorção de água Inicial (g)
	Seco	Úmido	c	l	c	l	(cm <sup>2</sup> )	
14 CR	2283,2	2301,2	192	92	19,2	9,2	176,6	19,72
15 CR	2336	2355,1	193	92	19,3	9,2	177,6	20,82
16 CR	2341,5	2359,6	191	93	19,1	9,3	177,6	19,72
17 CR	2320,5	2340,5	192	92,5	19,2	9,25	177,6	21,80
18 CR	2359,8	2379,4	190	92	19	9,2	174,8	21,70
19 CR	2341,3	2361,6	192	92	19,2	9,2	176,6	22,24
<b>Média</b>	<b>2330,38</b>	<b>2349,57</b>	<b>191,67</b>	<b>92,25</b>	<b>19,17</b>	<b>9,23</b>	<b>176,81</b>	<b>21,00</b>

Os resultados de absorção de água inicial dos blocos com e sem adição de lodo de fosfatização (tabelas 3 e 4) são inferiores a  $(30 \text{ g}/193,55 \text{ cm}^2)/\text{mim}$ .

Segundo a norma 15270-3 (ABNT, 2005), estes poderão ser assentados sem o prévio umedecimento.

### 3.4 Absorção de Água (AA)

Os resultados obtidos para a absorção de água nos blocos com e sem adição de lodo de fosfatização encontram-se na tabela 5.

Tabela 5 – Absorção de água dos blocos com e sem adição de lodo fosfatização

Bloco	Peso (g)		%	Bloco	Peso (g)		
	Seco	Saturado			Seco	Saturado	
<b>14 SR</b>	2351,1	2712,1	15,4	<b>14 CR</b>	2283,2	2656,7	16,4
<b>15 SR</b>	2263,2	2611,6	15,4	<b>15 CR</b>	2336	2692,5	15,3
<b>16 SR</b>	2269,9	2609,7	15,0	<b>16 CR</b>	2341,5	2695,8	15,1
<b>17 SR</b>	2255,9	2600,8	15,3	<b>17 CR</b>	2320,5	2674,5	15,3
<b>18 SR</b>	2268,2	2602,9	14,8	<b>18 CR</b>	2359,8	2716,2	15,1
<b>19 SR</b>	2383	2738,7	14,9	<b>19 CR</b>	2341,3	2696,7	15,2
<b>Média</b>	<b>2298,55</b>	<b>2645,97</b>	<b>15,12</b>	<b>Média</b>	<b>2330,38</b>	<b>2688,73</b>	<b>15,38</b>

Os resultados de absorção de água (tabela 5) estão associados às propriedades e ao tipo de microestrutura formada no material quando da queima. Seu controle implica em uma forma simplificada de controle da porosidade, que pode interferir em outras propriedades do produto acabado (Borgo, 2005).

Os resultados indicam que praticamente não houve aumento na porosidade do material com a adição de lodo. Os resultados encontrados atendem a norma NBR 15270-1 (ABNT, 2005), pois são inferiores ao máximo recomendado (22%) e superiores ao mínimo recomendado (8%) pela mesma.

### 3.5 Resistência à Compressão

Os resultados obtidos para o ensaio de resistência à compressão, encontram-se nas tabelas 6 e 7

Tabela 6 – Resistência à compressão dos blocos cerâmicos sem adição de lodo de fosfatização

Blocos Cerâmicos	Dimensões		Carga (kg)	Tensão (MPa)
	c	l		
1 SR	19,2	9,2	4010	2,2
2 SR	19,3	9,2	3250	1,8
3 SR	18,8	9,1	3920	2,3
4 SR	19,2	9,1	4340	2,4
5 SR	19,3	9,2	2650	1,5
6 SR	19,2	9,3	3310	1,8
7 SR	19,1	9,3	3510	1,9
8 SR	19,3	9,3	2630	1,4
9 SR	19,1	9,2	3230	1,8
10 SR	19,5	9,3	2980	1,6
11 SR	19,0	9,2	2650	1,5
12 SR	19,0	9,1	3730	2,1
13 SR	19,1	9,1	2750	1,6
<b>Média</b>	<b>19,2</b>	<b>9,2</b>	<b>3304,6</b>	<b>1,8</b>

Tabela 7 – Resistência à compressão dos blocos cerâmicos com adição de lodo de fosfatização

<b>Blocos Cerâmicos</b>	<b>Dimensões</b>		<b>Carga (kg)</b>	<b>Tensão (MPa)</b>
	<b>c</b>	<b>l</b>		
1 CR	19,0	9,2	4880	2,8
2 CR	19,5	9,2	3660	2,0
3 CR	19,3	9,3	4470	2,5
4 CR	19,1	9,3	4130	2,3
5 CR	19,3	9,3	3290	1,8
6 CR	19,0	9,2	3910	2,2
7 CR	19,2	9,2	2650	1,5
8 CR	19,4	9,3	4320	2,3
9 CR	19,0	9,2	2660	1,5
10 CR	19,0	9,3	2810	1,6
11 CR	19,1	9,2	4480	2,5
12 CR	19,3	9,2	2940	1,6
13 CR	19,2	9,3	3350	1,8
<b>Média</b>	<b>19,2</b>	<b>9,2</b>	<b>3657,7</b>	<b>2,0</b>

De acordo com a norma NBR15270-1 (ABNT, 2005), 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.

Analizando-se a tabela 6, nota-se que nos blocos sem adição de resíduo, um dos valores encontrados (8 SR = 1,4 MPa) encontra-se abaixo do mínimo estabelecido (1,5 MPa), sendo possível aprovar o lote por ser somente uma unidade não conforme. Já para os blocos com adição de resíduo (tabela 7), todos os valores atingiram o mínimo estabelecido, sendo possível perceber uma pequena melhora na média do valor da resistência a compressão (2,0 MPa) em relação aos blocos sem resíduo (1,8 MPa).

### 3.6 Caracterização Ambiental

Os resultados obtidos para o ensaio de lixiviação para os blocos com e sem adição de LF, demonstram que nenhum dos elementos analisados (As, Ba, Cd, Pb, Cr, Hg, Ag, fluoretos e Se), foram lixiviados acima dos limites permitidos pela norma NBR 10004 (ABNT, 2004). O que indica, que os mesmos não são 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 8.



Tabela 8 - Resultados obtidos para o ensaio de solubilização

Parâmetros	Bloco sem Lodo de Fosfatização	Bloco com Lodo de Fosfatização	Limite de detecção da técnica	Limite Máximo NBR 10004 (ABNT, 2004)
Alumínio(mg/L)	3,379	3,63	0,2	0,2
Arsênio (µg/L)	< 1,5	< 1,5	1,5	0,01
Bário (mg/L)	< 0,5	< 0,5	0,5	0,7
Cádmio (mg/L)	< 0,005	< 0,005	0,005	0,005
Sódio (mg/L)	2,818	4,107	0,01	200
Cobre (mg/L)	0,025	0,042	0,0015	2,0
Zinco (mg/L)	< 0,0015	0,014	0,0015	5,0
Chumbo (mg/L)	< 0,005	< 0,005	0,005	0,01
Cromo total (mg/L)	< 0,003	< 0,003	0,003	0,05
Ferro (mg/L)	0,67	0,894	0,03	0,3
Manganês (mg/L)	< 0,0015	< 0,0015	0,0015	0,1
Mercúrio (µg/L)	< 0,05	< 0,05	0,05	0,001
Fenol (mg/L)	< 0,001	< 0,001	0,001	0,01
Dureza (mg/L)	17	90	zero	500,0
Nitrato (mg/L)	1,849	2,655	0,04	10,0
Cianeto (mg/L)	< 0,0003	< 0,0003	0,0003	0,07
Sulfato (mg/L)	2,31	138,65	1,0	250,0
Surfactantes (mg/L)	0,153	0,755	0,01	0,5
Cloreto (mg/L)	4,13	4,81	Zero	250,0
Fluoreto (mg/L)	1,97	3,19	Zero	1,5

Observando-se os resultados obtidos para amostras estudadas, é possível afirmar que ferro, alumínio e fluoretos solubilizaram, tanto nas amostras com LF, quanto nas sem LF. Houve um aumento na concentração da solubilização destes compostos. Isto já era esperado, pois o resíduo contém estes elementos na sua composição química. Cabe salientar que, alumínio, ferro e fluoretos (Santos, 1989) fazem parte da composição química da argila, matéria-prima utilizada para a confecção de blocos cerâmicos. Na amostra com adição de lodo, além destes compostos, também foram solubilizados surfactantes, que provavelmente são provenientes de uma etapa do processo de fosfatização, onde desengraxantes contendo estes compostos são usados para a limpeza das peças.

Em relação aos sulfatos, apesar deles não serem solubilizados acima do limite estabelecido pela norma, nota-se um aumento bastante expressivo (em torno de 70%) na quantidade solubilizada. Este resultado está sendo analisado na continuidade do trabalho quanto à geração de eflorescência nos blocos produzidos com adição de LF, no sentido de se obter uma melhor avaliação em comparação aos blocos sem adição de LF.

A caracterização ambiental do produto obtido com 2,5% de adição é classificado como Resíduo Sólido Classe IIA – Não Inerte segundo a norma NBR 10004 (ABNT, 2004), isto não inviabilizaria seu uso, pois o material cerâmico comercializado pela empresa que cedeu as amostras possui a mesma classificação.

#### 4 CONCLUSÕES

Em relação aos resultados obtidos, para as propriedades mecânicas e físicas, é possível

concluir que os blocos cerâmicos fabricados com a adição de 2,5% de LF atendem as exigências da norma e literatura, considerando as condições experimentais da presente pesquisa, obtendo valores de resistência a compressão similares ao referência.

A caracterização ambiental demonstra que o produto obtido com a adição de 2,5% de lodo de fosfatização nos blocos cerâmicos é classificado como Resíduo Sólido Classe II – Não Inerte. Os blocos solubilizam alumínio, ferro, surfactantes e fluoretos acima dos limites estabelecidos pela norma NBR 10004 (ABNT, 2004). Destes, o único solubilizado somente nos blocos cerâmicos com adição de 2,5% do LF é o surfactante. A classificação dos blocos cerâmicos comercializados pela olaria que cedeu as amostras é a mesma dos blocos cerâmicos produzidos com a adição de 2,5% de adição de LF - Resíduo Sólido Classe II – Não Inerte. Portanto, o fato dos blocos com adição de 2,5% de adição apresentarem solubilização também para os surfactantes, não inviabilizará o uso dos mesmos em termos ambientais.

## 5 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Lixiviação de resíduos – Procedimentos:** NBR 10005. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solubilização de resíduos – Procedimentos:** NBR 10006. Rio de Janeiro, 2004.

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.

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.

BORGO, S.C. **Minimização e reciclagem de lodo galvânico e poeira de jateamento.** Curitiba, 2005 Dissertação de mestrado defendida no Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos e Ambientais no Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, 2005. 109 p.

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.

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.