

ADIÇÃO DE LODO DE FOSFATIZAÇÃO PARA PRODUÇÃO DE CONCRETO – ESCALA LABORATORIAL

Feliciane A. Brehm (1); Rosângela A. Bersch (2); Marlova P. Kulakowski (3); Carlos A. M. Moraes (4); Katiane Roxo (5); Vanessa Rodrigues (6); Andrea Pampanelli (7)

(1) Engenharia Mecânica - NucMat - Unisinos, São Leopoldo, Brasil - e-mail: felicianeb@unisinos.br

(2) Gestão Ambiental – Unisinos, São Leopoldo, Brasil - e-mail: rosangela.andrea@gmail.com

(3) Engenharia Civil – PPGECC - Unisinos, São Leopoldo, Brasil - e-mail: marlovak@unisinos.br

(4) Engenharia Mecânica - NucMat, Unisinos, São Leopoldo, Brasil - e-mail: cmoraes@unisinos.br

(5) GKN do Brasil Ltda, Porto Alegre, Brasil - email: katiiane.roxo@gkndriveline.com

(6) GKN do Brasil Ltda, Porto Alegre, Brasil - e-mail: vanessa.rodrigues@gkndriveline.com

(7) GKN do Brasil Ltda, Porto Alegre, Brasil - e-mail: andrea.pampanelli@gkndriveline.com

RESUMO

Proposta: O lodo de fosfatização (LF) gerado no tratamento de efluentes do processo de revestimento fosfático de aço é um resíduo sólido atualmente disposto em aterro industrial próprio da empresa (ARIP). Sua utilização em concreto é uma alternativa para a construção civil, um dos setores que mais consome recursos naturais e energia, ao mesmo tempo em que permite a diminuição dos custos de tratamento e disposição final. Este trabalho tem como objetivo verificar a influência da adição de 2,5% de lodo de fosfatização no tempo de pega de cimento, bem como na resistência à compressão de concretos.

Método: Foi realizada uma caracterização química qualitativa via fluorescência de raios-x do LF. Determinou-se o tempo de início e fim de pega para pastas de cimento contendo 0; 2,5; 5,0 e 7,5% de adição de lodo de fosfatização. Em concreto com adição de 0 e 2,5% de lodo determinou-se a resistência à compressão nas idades de 1, 7 e 28 dias. Os concretos também foram caracterizados ambientalmente.

Resultados: Os resultados obtidos indicam que a adição de 2,5 % de lodo de fosfatização em concretos não altera significativamente a resistência à compressão de concretos até a idade de 28 dias.

Contribuição da pesquisa: Resultados promissores em escala laboratorial viabilizarão testes industriais, que podem gerar um co-produto. Isto pode significar redução de custos para a indústria geradora, pois deixará de simplesmente dispor este resíduo para destiná-lo de uma forma ambientalmente correta: matéria-prima para outro processo industrial.

Palavras-chave: Lodo de fosfatização, concreto, reciclagem, construção civil, tempo de pega.

ABSTRACT

Proposal: The phosphatization sludge (PS) 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. Its use in concrete may be an alternative to the civil construction industry, because this sector is responsible for a great consumption of natural resources and energy to produce its products. At the same time, its recycling contributes to decrease the treatment and disposal costs. This work aims to verify the influence of addition of 2.5% of phosphatization sludge on the setting time as well in the compressive strength of concrete samples. **Method:** It was carried out the qualitative chemical characterization via X-ray fluorescence spectroscopy of the PS. The initial and final setting time of cement paste containing 0, 2.5, 5.0 and 7.5% of PS were determined. Concrete samples containing 0 and 2.5% of PS were also molded to determine the compressive strength in the ages of 1, 7 and 28 days. At last, the samples were characterized to evaluate their environmental impact. **Results:** the results show that the 2.5% addition of PS does not change significantly the compressive strength of concretes until the age of 28 days. **Contribution of the research:** such promising results in laboratory scale will guarantee the viability of industry tests, obtaining a by-product. To the generator company, such development may reduce cost of disposal, transforming its solid waste in a raw material for another industrial sector.

Keywords: phosphatization sludge, concrete, recycling, civil construction, setting time.

1 INTRODUÇÃO

Um dos resíduos sólidos gerados pela indústria metal-mecânica é o Lodo de Fosfatização (LF), 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. Este resíduo é, na maioria das vezes, disposto inadequadamente em aterros sanitários e/ou lixão. Em alguns casos é encaminhado para aterros industriais ou tratado através do processo de troca iônica (Nishimo, 1994). Algumas alternativas de reciclagem de lodos gerados durante o processo de tratamento de efluentes vêm sendo estudadas, tais como: aplicação na agricultura (Altafin et al, 2004; Borges, et al, 2007; Silva et al, 2003) adição para a produção de clínquer de cimento Portland (Caponero, 1999; Paiva, 2007) e fabricação de blocos cerâmicos (Giffoni e Lange, 2005; Herek et al, 2005; Brehm et al, 2007).

O setor da construção civil é um ramo de atividade tecnológica que, pelo volume de recursos naturais consumidos, pode 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.

De acordo com Horvarth (2003), a sociedade, a indústria e os governos têm ficado cada vez mais interessados tanto em projetos, como em uma engenharia “verde”, levando a uma aproximação no sentido de se atingir qualidade ambiental e desenvolvimento sustentável. Desta forma, as empresas têm buscado parceria para desenvolvimento de projetos, onde os resultados obtidos, além de serem ambientalmente corretos, podem também, reduzir custos para a indústria geradora, pois deixará de simplesmente dispor este resíduo para destiná-lo de uma forma ambientalmente correta: matéria-prima para outro processo industrial.

O objetivo deste trabalho é avaliar as características mecânicas e ambientais de concreto produzido em escala laboratorial, com 2,5%, de adição em massa de LF.

2 METODOLOGIA

2.1 Amostragem

Para garantir a homogeneidade da amostra, a célula do ARIP (Aterro de Resíduos Industriais Próprio), da empresa geradora, onde se encontra o LF foi dividida em quadrados e, amostras foram retiradas destes de forma alternada (figura 1). Para garantir a preservação da geomembrana que impermeabiliza esta célula, as amostras não foram coletadas na borda da mesma.

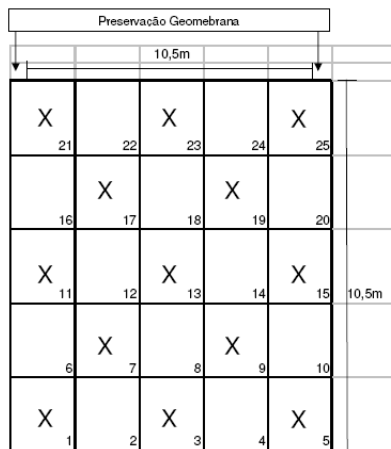


Figura 1 - Diagrama esquemático da célula do lodo de fosfatização, com identificação dos locais onde foram retiradas as amostras.

Para a amostragem foi utilizado um trado para que a mesma fosse retirada não só da superfície, mas em toda a profundidade da célula. Após, as amostras foram colocadas em uma lona onde foram quarteadas. O quarteamento da amostra consistiu em misturar a amostra e dividi-la em quatro partes, retirando uma dessas partes. Após a retirada dessa parte, a amostra foi misturada novamente repetindo-se o mesmo procedimento até que se obteve uma parte muito pequena dessa amostra. Esse procedimento foi realizado a fim de obter uma amostra o mais homogênea possível, de acordo com a NBR 10007 (ABNT, 2004).

2.2 Caracterização química qualitativa do LF – Fluorescência de Raios-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 Preparação do LF utilizados nos ensaios desenvolvidos

O LF in natura apresenta teor de umidade de 66,18% (Brehm et al, 2007). Para emprego nestes estudos, o mesmo necessitou ser preparado. Desta forma, foi realizada uma secagem do lodo a uma temperatura de 110°C por 24 horas, seguida de moagem em Moinho de Bolas a fim de homogeneizar e diminuir a granulometria do LF, para que a mesma ficasse próxima a granulometria do cimento. Para um cimento CP IV a norma NBR 11579 (ABNT, 2005) prescreve que o resíduo na peneira não deve ser maior do que 8% e para o CP V-ARI não deve ser maior do que 6%. Após a moagem, o LF foi peneirado em peneira com abertura de malha 0,075 mm, empregando-se apenas a fração passante nesta peneira.

2.4 Determinação dos tempos de início e fim de pega das pastas de cimento contendo 2,5% de LF (em relação à massa de cimento)

Adotou-se o teor de 2,5% de adição de LF (em relação à massa de cimento) devido ao volume gerado de resíduo, uma vez que, sendo os resultados positivos, também em teores mais elevados, a empresa geradora não conseguiria suprir a eventual demanda gerada. Para a realização destes ensaios empregou-se o cimento CP V-ARI. Optou-se por este tipo de cimento, por ser um cimento que pode conter em sua composição apenas um teor máximo de 5% de adição de fíler calcário, ou seja, uma adição inerte, que não interfere no comportamento da adição em estudo. A determinação dos tempos de início e fim de pega das pastas de cimento Portland foi realizada pelo método de ensaio especificado pela norma NBR NM65 (ABNT, 2003), utilizando aparelho de Vicat. A determinação da pasta de consistência normal foi obtida conforme o método da NBR NM43 (ABNT, 2003).

2.5 Estudos em concreto

Os estudos conduzidos em concreto utilizaram, além do cimento empregado no estudo em pastas, agregado miúdo de origem quartzosa e grão de origem basáltica disponíveis na região, cujas caracterizações são apresentadas nas Tabelas 1 e 2. O proporcionamento do concreto foi realizado pelo método IPT/EPUSP (Helene e Terzian, 1993).

Tabela 1 - Características físicas do agregado miúdo.

Peneira Abertura (mm)	% Média retida	% Média retida acumulada	Dimensão máxima característica (mm)	Módulo de finura	Massa específica (g/cm ³)
4,75	3	3	4,8	2,79	2,49
2,4	7	10			
1,2	15	25			
0,6	22	47			
0,3	45	92			
0,15	8	100			
< 0,15	0	100			

Tabela 2 - Características físicas do agregado graúdo.

Peneira Abertura (mm)	% Média retida	% Média retida acumulada	Dimensão máxima característica (mm)	Módulo de finura	Massa específica (g/cm ³)
25,0	0	0	25	7,33	2,78
19,0	33	33			
12,5	67	100			
9,5	0	100			
6,3	0	100			
4,8	0	100			
< 4,8	0	0			

Para determinar a resistência à compressão dos concretos estudados, foram moldados 2 corpos-de-prova (cp's) cilíndricos, com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, para cada uma das idades de ensaio (1, 7, 28 e dias). A moldagem dos cp's seguiu as recomendações da NBR 5738 (ABNT, 2003), permanecendo em ambiente de laboratório, após o qual foram encaminhados para câmara de cura úmida até que atingissem as idades determinadas para o ensaio de resistência à compressão. Os corpos de prova com idade de 1 dia foram desmoldados e, a seguir, submetidos ao ensaio. Para a determinação da resistência dos corpos-de-prova em 1, 7, 28 e 91 dias, seguiu-se a NBR NM101 (ABNT, 1996), que especifica o método de ensaio de compressão para o concreto.

2.6 Caracterização Ambiental

As amostras analisadas durante a avaliação ambiental foram: concreto com adição de 2,5% de LF e concreto sem adição de LF (referência). Os ensaios de lixiviação, conforme a NBR 10005 (ABNT, 2004), e solubilização, conforme NBR 10006 (ABNT, 2004), foram realizados em laboratório de empresa de consultoria.

3 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

3.1 Caracterização química qualitativa do LF – Fluorescência de Raios-X

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 e, também dos 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. Esta caracterização, bem como a as caracterizações físicas (massa específica, análise da superfície específica e granulometria de difração a laser) fazem parte da continuidade do projeto para atender necessidades exigidas na sua transformação como co-produto, avaliadas como sendo importantes para esta segunda etapa e não para o presente estudo da viabilidade técnica (resistência à compressão) e ambiental.

3.2 Tempos de início e fim de pega das pastas de cimento contendo 2,5% de LF

Na Tabela 3 é possível observar os resultados obtidos para o início e fim de pega das pastas de cimento.

Tabela 3 - Início e fim de pega.

Teor de lodo	0 %	2,5 %
Início de pega (h:mn)	2:58	3:37
Fim de pega (h:mn)	4:02	5:22

Analisando-se os resultados da Tabela 3, nota-se que o tempo de início e fim de pega aumentou em relação a pasta de cimento referência (0% de adição). Estes resultados estão de acordo com a literatura pesquisada (Brehm, 2004), na qual é relatado que compostos contendo zinco (caso do lodo de fosfatização), adicionados a pastas de cimento, retardam a pega. De acordo com a norma NBR 5733 (ABNT, 1991) a faixa de início e fim de pega deve estar entre 1 e 10 horas. Neste sentido, há possibilidade de uso para o lodo de fosfatização em cimento. No entanto, deve-se considerar que o início e fim de pega de um sistema a base de cimento como o concreto, podem ser alterados em função da interação com eventuais contaminações dos agregados e do uso de aditivos químicos.

3.3 Resistência à compressão

O teor de argamassa α dosado para as misturas estudadas foi de 52% para um abatimento pré-estabelecido de 80 +/- 10 mm. Os traços, abatimentos e resultados obtidos para resistência à compressão, nas idades estudadas, são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Traços e resistências à compressão dos concretos estudados.

	Traço Unitário	Teor de lodo (%)	a/c	Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita (kg)	Água (kg)	Lodo (kg)	Abatimento (mm)	CP	Resistência à compressão (MPa)		
											1 dia	7 dias	28 dias
P0	1 : 2,90 : 3,60	0	0,61	5,555	16,110	20,000	3,404	0,000	75	1	4,6	21,6	29,0
										2	4,2	21,2	26,8
I0	1: 2,12 : 2,88	0	0,52	6,944	14,721	20,000	3,646	0,000	70	1	10,0	28,6	33,8
										2	9,6	27,0	28,7
R0	1 : 1,34 : 2,16	0	0,39	9,259	12,407	20,000	3,611	0,000	85	1	11,5	34,4	43,6
										2	11,0	33,1	39,8
P2,5	1 : 2,90 : 3,60	2,5	0,63	5,555	16,110	20,000	3,611	0,139	90	1	4,3	22,0	27,6
										2	3,9	20,4	24,5
I2,5	1: 2,12 : 2,88	2,5	0,47	6,944	14,721	20,000	3,366	0,174	85	1	6,0	27,6	34,6
										2	5,9	26,0	34,2
R2,5	1 : 1,34 : 2,16	2,5	0,42	9,259	12,407	20,000	4,011	0,232	75	1	12,6	30,3	37,5
										2	12,5	24,6	35,3

Observa-se que, em média, a adição de Lodo de Fosfatização diminui a resistência à compressão dos concretos estudados, pois, conforme observado na Tabela 4, o consumo de água nos concretos com LF, em geral, aumenta.

O ajuste das curvas de Abrams para as misturas estudadas é apresentado na Figura 2. As equações de ajuste para cada mistura e suas respectivas idades são apresentadas na Tabela 5.

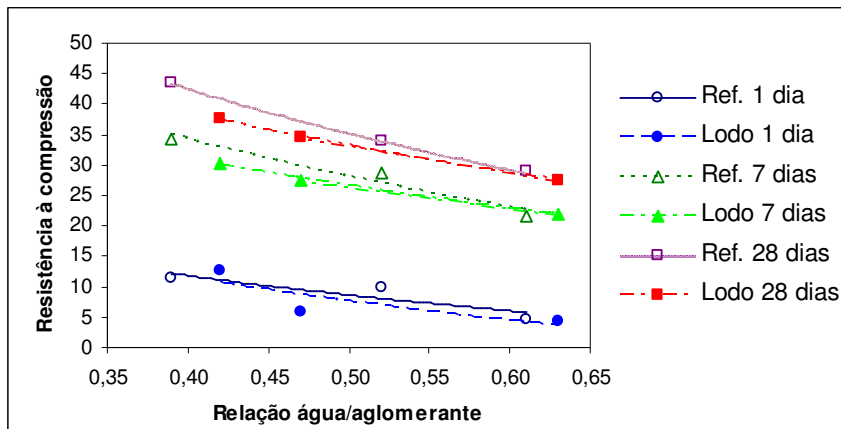


Figura 2 – Curvas de Abrams ajustadas para os concretos de referência.

Tabela 5 – Equações das curvas de Abrams para os concretos estudados.

Idade (dias)	Lodo (%)	Equação	R ²
1	0	$\log(fc)=1,7661-1,8088(a/c)$	0,7874
7	0	$\log(fc)=1,8948-0,9187(a/c)$	0,9533
28	0	$\log(fc)=1,9534-0,8049(a/c)$	0,9990
1	2,5	$\log(fc)=2,0342-2,2233(a/c)$	0,6996
7	2,5	$\log(fc)=1,7595-0,6220(a/c)$	0,9972
28	2,5	$\log(fc)=1,8403-0,6339(a/c)$	0,9997

A fim de poder realizar uma comparação direta do desempenho dos concretos com e sem Lodo de Fosfatização, foram calculadas resistências à compressão a partir das equações apresentadas na Tabela 5. Para tanto, foram empregadas as mesmas relações água/cimento para os dois tipos de concreto. A Figura 3 apresenta esta comparação.

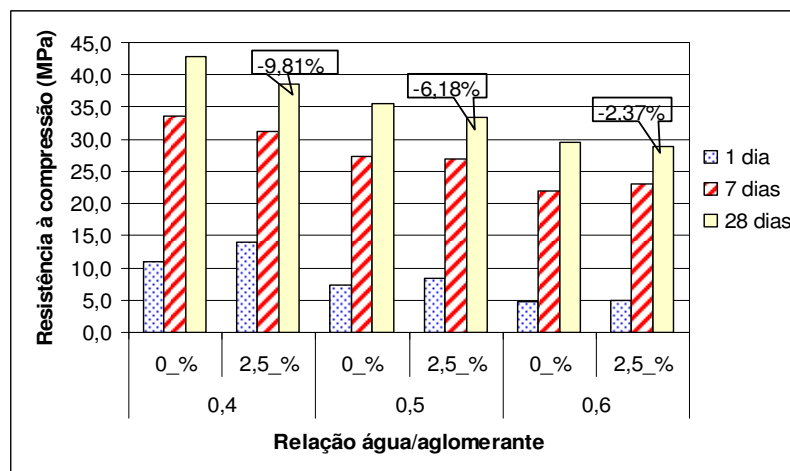


Figura 3 – Comparação entre concretos com e sem Lodo de Fosfatização para relações água/cimento iguais.

Pode-se observar na Figura 3 que, para uma mesma relação água/cimento, os concretos com LF apresentam resistência menor. A diferença entre as resistências dos concretos com e sem lodo é maior à medida que diminui a relação água/cimento. Este comportamento pode indicar que o LF está atuando como uma fração fina na mistura e à medida que a relação água/cimento aumenta, maior é a quantidade de poros onde a ação do LF pode ser mais efetiva.

3.4 Caracterização ambiental: concreto com e sem adição de LF

A Tabela 6 apresenta os resultados obtidos para o ensaio de lixiviação para as amostras estudadas.

Tabela 6 - Resultados obtidos para o ensaio de lixiviação

Parâmetros	Concreto sem LF	Concreto com LF	Limite de detecção da técnica	Limite Máximo NBR 10004
Arsênio (µg/L)	< 1,5	< 1,5	1,5	1,0
Bário (mg/L)	< 0,5	< 0,5	0,5	70
Cádmio (mg/L)	< 0,005	< 0,005	0,005	0,5
Chumbo (mg/L)	0,295	0,295	0,005	1,0
Cromo total(mg/L)	< 0,003	< 0,003	0,003	5,0
Mercurio (µg/L)	< 0,05	< 0,05	0,05	0,1
Prata (mg/L)	< 0,0015	< 0,0015	0,0015	5,0
Fluoreto (mg/L)	0,01	0,02	zero	150
Selênio (µg/L)	< 2,0	< 2,0	2,0	1,0

Na Tabela 6 nota-se que nenhuma das amostras estudadas apresentou lixiviação acima dos limites permitidos pela norma NBR 10004 (ABNT, 2004), não sendo caracterizados como resíduos sólidos Classe I – Perigosos. Observa-se também que existem dois elementos (Arsênio e Selênio) cujo limite de detecção da técnica é superior ao limite máximo estabelecido pela norma. No entanto, estes elementos não foram detectados na análise qualitativa via FRX do LF, não sendo dessa forma relevantes para os resultados obtidos em concreto. Os resultados obtidos para o ensaio de solubilização para as amostras estudadas em escala industrial, encontram-se na Tabela 7.

Tabela 7 - Resultados obtidos para o ensaio de solubilização

Parâmetros	Concreto sem LF	Concreto com LF	Limite de detecção da técnica	Limite Máximo NBR 10004
Alumínio (mg/L)	< 0,2	< 0,2	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)	14,01	14,05	0,01	200
Cobre (mg/L)	< 0,0015	< 0,0015	0,0015	2,0
Zinco (mg/L)	0,017	0,025	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)	0,421	0,417	0,03	0,3
Manganês (mg/L)	< 0,0015	< 0,0015	0,0015	0,1
Mercurio (µg/L)	< 0,05	< 0,05	0,05	0,001
Fenol (mg/L)	< 0,001	< 0,001	0,001	0,01
Nitrato (mg/L)	0,117	0,096	0,04	10,0
Cianeto (mg/L)	< 0,0003	< 0,0003	0,0003	0,07
Sulfato (mg/L)	4,712	3,917	1,0	250,0
Surfactantes (mg/L)	0,224	0,061	0,01	0,5
Cloreto (mg/L)	78,69	64,51	Zero	250,0
Fluoreto (mg/L)	0,01	0,01	Zero	1,5
Prata (mg/L)	< 0,0015	< 0,0015	0,0015	0,05
Selênio (mg/L)	< 2,0	< 2,0	2,0	0,01

Observando-se os resultados obtidos para amostras estudadas (Tabela 7), é possível afirmar que somente ferro foi solubilizado, praticamente na mesma concentração, em ambas as amostras. Observa-se também que existem dois elementos (Arsênio, Selênio e Mercúrio) cujo limite de detecção da técnica é superior ao limite máximo estabelecido pela norma. No entanto, estes elementos não foram detectados na análise qualitativa via FRX do LF, não sendo dessa forma relevantes para os resultados obtidos em concreto. A caracterização ambiental do co-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 este elemento também é solubilizado no concreto sem adição de LF.

Por outro lado, os resultados ambientais obtidos para os concretos com LF, evidenciam uma maior tendência de encapsulamento do resíduo em matrizes a base de cimento, quando comparados com a análise ambiental de blocos cerâmicos com a incorporação de 2,5% de LF (resíduo idêntico ao utilizado no presente trabalho), cujos compostos solubilizados foram alumínio, ferro, surfactantes e fluoretos (Brehm et al, 2007).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos, pode-se inferir que a presença de zinco na composição do lodo de fosfatização leva a um aumento do tempo de pega, tanto inicial como final. Desta forma, a adição de LF em matrizes a base de cimento atua como um retardador da pega, o que faz com que a evolução da resistência à compressão nas primeiras idades possa ser mais lenta.

Quanto ao emprego em concreto, o comportamento dos corpos-de-prova de concreto contendo lodo foi, em média, inferior ao concreto de referência, indicando que o efeito fíler esperado da adição do lodo não foi plenamente atendido. Contudo, esta consideração deve ser avaliada com cautela, pois ocorreu um comportamento favorável nos concretos de relação água/cimento mais elevado. De uma maneira geral, para um mesmo traço, a demanda de água aumenta nos corpos de prova contendo LF, o que também leva estes concretos a apresentarem um comportamento inferior aos concretos de referência.

Em relação às análises ambientais, os resultados dos compostos lixiviados e solubilizados evidenciam uma boa tendência de encapsulamento do Lodo de Fosfatização em concretos de cimento Portland.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro para o desenvolvimento do projeto da empresa GKN, e ao CNPq pela bolsa PIBIC da aluna Rosângela.

6 REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Amostragem de resíduos sólidos**: NBR 10007. Rio de Janeiro, 2004.

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

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Resíduos sólidos – Classificação**: NBR 10004. Rio de Janeiro, 2004.

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

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11579. Cimento Portland - Determinação da finura por meio da peneira 75 micrômetros (número 200)**. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5733 Cimento Portland de alta resistência inicial**. Rio de Janeiro, 1991.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738 - Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova**. Rio de Janeiro, 2003.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM43. Cimento Portland - Determinação da pasta de consistência normal**. Rio de Janeiro, 2003

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 101 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 1996.

ALTAFIN et al. **Utilização de lodo de fosfatização na produção de mudas de espécies nativas**. Engenharia Ambiental, Espírito Santo do Pinhal, v.1, n.1, jan/dez, 2004, p.045-050.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM65. Cimento Portland - Determinação do tempo de pega**. Rio de Janeiro, 2003.

BORGES, D.B.; BARROS, R.G.; SOUZA, E.R.B.; OLIVEIRA JÚNIOR, J.P.; LEANDRO, W.M.; OLIVEIRA, I.P.; CARNEIRO, M.F.; NAVES, R.V.; SONNENBERG, P.E. **Teores de micronutrientes nas folhas de milho fertilizadas com lodo de curtume**. Bioscience Journal, Apr/June 2007. vol. 23 nº 2, p.1-6

BREHM, F. A. **Adição de óxido de zinco (ZnO) em pastas de cimento visando viabilizar a reciclagem de Pós de Aciaria Elétrica (PAE) na construção civil**. Tese de doutorado defendida no Programa de Pós-Graduação em Metalurgia, Materiais e Minas – PPGEM da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, 2004. 100p

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.

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.

GIFFONI, Patrícia de Oliveira e 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.

HELENE, P. e TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto.** Ed. Pini, São Paulo, 1993, 349 p.

HEREK, L.C.S.; BERGAMASCO, R.; TAVARES, C.R.G.; UEMURA, V.O.; PANCOTTE, L.P. **Estudo da solidificação/estabilizaçãodo lodo da indústria têxtil em material cerâmico.** *Cerâmica Industrial.*, Julho./Agosto 2005, vol.10, no.4, p.41-46.

HORVATH, A. **Lyfe Cicle Environment and Economic Assessment of Using Recycled Materials for Asphalt Pavement.** Relatório Técnico, Universidade da California, 2003.

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.

NISHIMO, T. **Recovery of Phophoric Acid from Waste Phosphate Sludge by Dissolution Using Ion Exchange Resin.** *Journal of Japan Society of Waste Management Experts*, 5, 1994, p. 202-208.
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.

SILVA, P.E.; MOTA, S.; BOANERGES, F.Q.; **Potencial de utilização do lodo de indústria têxtil como fertilizante agrícola.** *Eng. Sanit. Ambient.*, Apr./June 2003, vol.8, no.2, p.69-76. ISSN 1413-4152.