

RECICLAGEM DE LODO DE FOSFATIZAÇÃO COMO ADIÇÃO EM CERÂMICA VERMELHA¹

Feliciane Andrade Brehm²
Rosângela Andréia Berch³
Décio Collatto⁴
Carlos Alberto Mendes Moraes⁵
Claudio Kazmierczak⁶
Andrea Pampanelli⁷
Katiane Roxo⁸
Vanessa Rodrigues⁸
Edelmar Liedke⁸

Resumo

O lodo de fosfatização é gerado no tratamento de efluentes do processo de revestimento por fosfatização de aço. Este resíduo é atualmente disposto em aterro industrial (ARIP). Este trabalho tem como objetivo avaliar a potencialidade de adição de lodo de fosfatização em cerâmica vermelha. Inicialmente foi realizada a caracterização do resíduo via difração de raios-x (DRX) e ambiental. Na seqüência, corpos de prova com traços de lodo de 2,5; 5 e 7,5%; e o referência foram moldados e queimados nas temperaturas de 850, 900, e 950°C. Os corpos de prova foram caracterizados a fim de avaliar suas propriedades utilizando os ensaios de resistência a flexão, absorção de água, perda ao fogo e retração linear; e ambientalmente através dos ensaios de lixiviação e solubilização. Os resultados obtidos indicam boas possibilidades para sua aplicação como adição em cerâmica vermelha.

Palavras-chaves: Lodo de fosfatização; Reciclagem; Cerâmica vermelha.

PHOSPHATIZATION SLUDGE RECYCLING AS ADITTION TO RED CERAMIC

Abstract

The phosphatization sludge is generated in the effluent treatment of the phosphatizing coating process of steel. Nowadays, this waste is disposed in an industrial land field. This work has the aim to evaluate the potentiality of its addition in red ceramic. Initially, the X-ray diffraction and environment characterization of the sludge waste were carried out. In the sequence, the ceramic samples containing 2.5, 5 e 7.5% of sludge waste; and the reference were made of. The ceramic samples were sintered at temperatures of 850, 900, and 950°C. The ceramic samples were characterized to evaluate their properties via flexural strength, water absorption, fire loss and linear retraction tests; and environmental via leaching and solution tests. The results of tests indicate good possibilities for its application as addition in red ceramic.

Keywords: Phosphatization sludge; Recycling; Red ceramic.

¹ Contribuição técnica ao 62° Congresso Anual da ABM – Internacional, 23 a 27 de julho de 2007, Vitória – ES, Brasil.

² Profa. Dra. - Engenharia Mecânica - Núcleo de Caracterização de Materiais - Universidade do Vale do Rio dos Sinos/UNISINOS. Av. Unisinos, 950 São Leopoldo – RS, Brasil, CEP 93022-000, e-mail: felicianeb@unisinos.br

³ Aluna de Graduação – Gestão Ambiental, UNISINOS, e-mail: rosangela.andreia@gmail.com.

⁴ Eng. Civil, Laboratório de Materiais de Construção Civil, UNISINOS, e-mail: dcollatto@unisinos.br.

⁵ Membro da ABM, Prof. Dr. - Engenharia Mecânica - Núcleo de Caracterização de Materiais, UNISINOS, e-mail: cmoraes@unisinos.br.

⁶ Prof. Dr. - Engenharia Civil - UNISINOS, e-mail: claudiok@unisinos.br.

⁷ Eng. Quim., Coordenadora de Meio ambiente, GKN do Brasil Ltda, e-mail: andrea.pampanelli@gkndriveline.com.

⁸ GKN do Brasil Ltda.

INTRODUÇÃO

A indústria metal-mecânica vem sendo cada vez mais pressionada, seja do ponto de vista de atender as exigências da legislação ambiental quanto a seu desempenho ambiental no sentido de controlar a geração de resíduos e dar destinação adequada para os mesmos. Além disso, estas empresas vêm sendo muito pressionadas pelo mercado também tornando a gestão ambiental um área cada vez mais envolvida como um fator de melhoria de qualidade de seus produtos comercializados. Neste sentido, além de minimizarem a geração de seus resíduos buscando melhorias no seu processo produtivo, a reciclagem externa de seus resíduos deve ser considerada antes da decisão convencional de enclausurá-los em aterros industriais.

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 dos mesmos 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.⁽¹⁻³⁾

Contudo, a utilização de resíduos sólidos requer pesquisas bem estruturadas que garantam: conhecimento aprofundado da composição do resíduo, avaliação da viabilidade técnica e econômica, avaliação ambiental ao longo do uso e pós-uso do produto, responsabilidade técnica e logística operacional.^(1,4,5)

De acordo com Nishimo⁽⁶⁾, um dos resíduos sólidos gerados pela indústria metalúrgica é o lodo de fosfatização, oriundo de indústrias que possuem dentro de seu processo produtivo a etapa de pintura em superfícies metálicas (fabricantes de máquinas agrícolas, montadoras, fabricantes de autopeças, etc.). Ele ainda coloca que este resíduo é na maioria das vezes, disposto inadequadamente em aterros sanitários e/ou lixões. Em alguns casos é encaminhado para aterros industriais ou tratado através do processo de troca iônica.⁽⁶⁾

Algumas alternativas de reciclagem do lodo de fosfatização vêm sendo estudadas, tais como: aplicação na agricultura,⁽⁷⁾ adição para a produção de clínquer de cimento Portland⁽⁸⁾ e fabricação de blocos cerâmicos.⁽⁹⁾

O presente trabalho apresenta a potencialidade técnica (em laboratório) de reciclagem do lodo de fosfatização gerado no tratamento superficial de componentes metálicos da indústria metal-mecânica como adição em cerâmica vermelha.

MATERIAIS E MÉTODOS

Amostragem

Para garantir a homogeneidade da amostra, a célula (Aterro de Resíduos Industriais próprio da Empresa geradora) onde se encontra o lodo de fosfato 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.

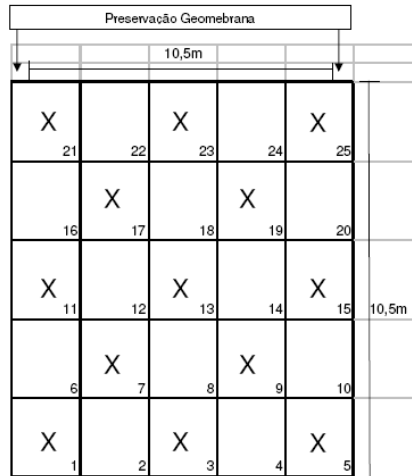


Figura 1 – Diagrama esquemático da célula do lodo de fosfatização, com identificação dos locais onde foram retiradas as amostras.

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, 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 NBR 10007⁽¹⁰⁾.

Difração de Raios-X (DRX)

Para determinar as fases existentes nas amostras de argila e lodo de fosfatização, estas amostras foram submetidas à análise via DRX. As amostras foram moídas em gral de ágata para que todos os grãos estivessem numa granulometria abaixo de 44 μm .

Determinação do teor de umidade do lodo de fosfato

A determinação do teor de umidade do lodo de fosfato foi realizada utilizando a Determinadora de Umidade - Termobalança Modelo Top-Ray. O valor encontrado para este ensaio foi de 66,18%.

Utilização do Lodo de Fosfatização em Materiais Cerâmicos

Nesta etapa do trabalho, foram realizados testes em escala laboratorial com as amostras de argila pura (0% adição), e lodo de fosfatização nos teores de 2,5; 5,0 e 7,5% de adição. A argila utilizada foi proveniente de uma mistura usual utilizada pela Olaria Brasil para a produção de tijolos. A metodologia utilizada para a obtenção e para a determinação das propriedades dos corpos-de-prova em materiais cerâmicos pode ser observada na Figura 2.

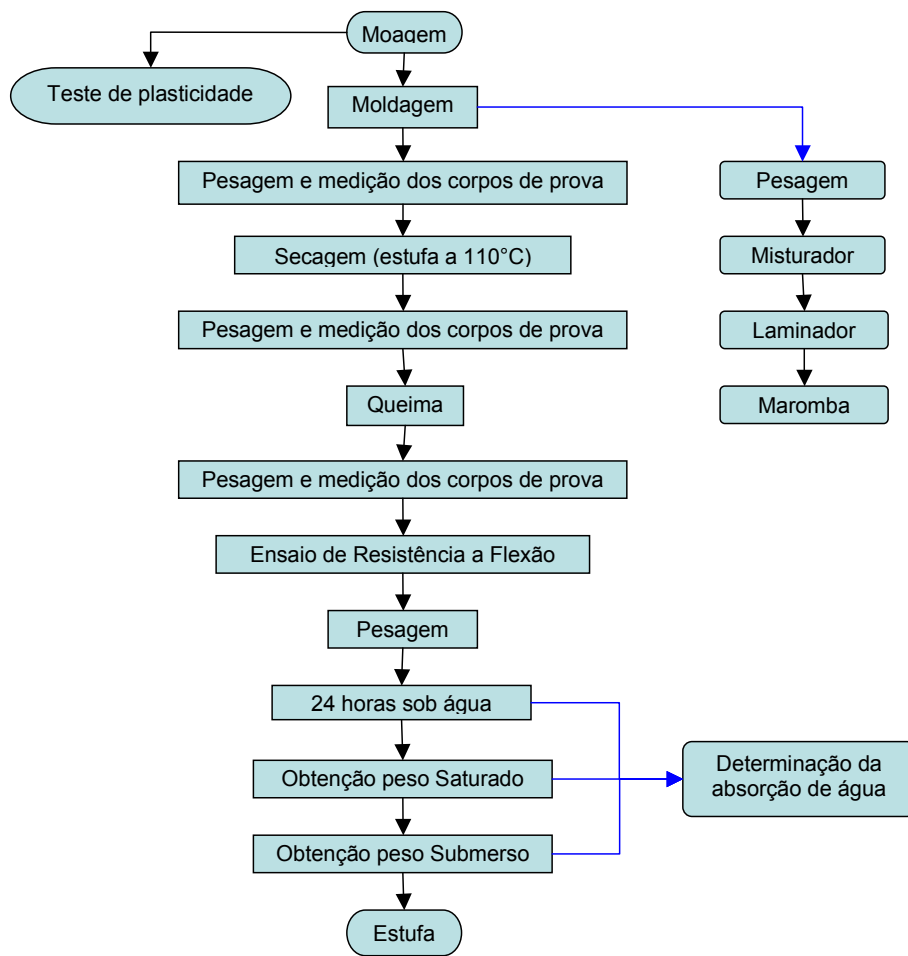


Figura 2 - Fluxograma da metodologia usada para determinação das propriedades dos corpos-de-prova cerâmicos

Na etapa de moagem, a argila cedida para a moldagem dos corpos de prova, já estava extrudada em forma de tijolos de seis furos, e havia sido submetida ao processo de secagem, anterior à sinterização. Para que a argila fosse usada, fez-se necessária a moagem desses tijolos, até que pó resultante desta moagem passasse pela peneira com uma abertura de malha de 2,38 mm.

Na etapa de formulação, a determinação do limite de plasticidade da argila foi realizada segundo a norma ABNT NBR 7181/84.⁽¹¹⁾ O valor encontrado para este ensaio foi 23,71%. Este ensaio foi realizado a fim de verificar qual a quantidade mínima de água necessária para a moldagem dos corpos-de-prova. As formulações realizadas foram:

Amostra 0 - Argila + 24% água

Amostra 1 - Argila + 2,5% lodo de fosfato + 24% água

Amostra 2 - Argila + 5,0% lodo de fosfato + 22,3% água

Amostra 3 - Argila + 7,5% lodo de fosfato + 21,5% água

Para a obtenção das formulações os constituintes das mesmas foram misturados em uma argamassadeira de eixo horizontal.

Na etapa de extrusão, as amostras foram passadas em uma laminadora a fim homogeneizar melhor a mistura. Depois de laminadas as amostras foram extrudadas a fim de adquirirem a forma final dos corpos-de-prova. Os corpos-de-prova foram então identificados, suas dimensões foram determinadas com auxílio de um paquímetro e

pesados, para que posteriormente fosse possível avaliar a contração e perda de massa sofrida durante o processo de secagem e sinterização.

Na etapa de secagem, os corpos-de-prova foram colocados em estufa a 110°C, por 24 horas, a fim de eliminar a umidade. Os mesmos foram novamente pesados e medidos com o auxílio de um paquímetro.

Na etapa de sinterização, os corpos-de-prova foram sinterizados em forno tipo mufla. As temperaturas utilizadas foram: 850°C, 900°C e 950°C, com taxa de aquecimento de 150°C/h e patamar de 12 horas. Após a sinterização os corpos-de-prova foram pesados e medidos novamente.

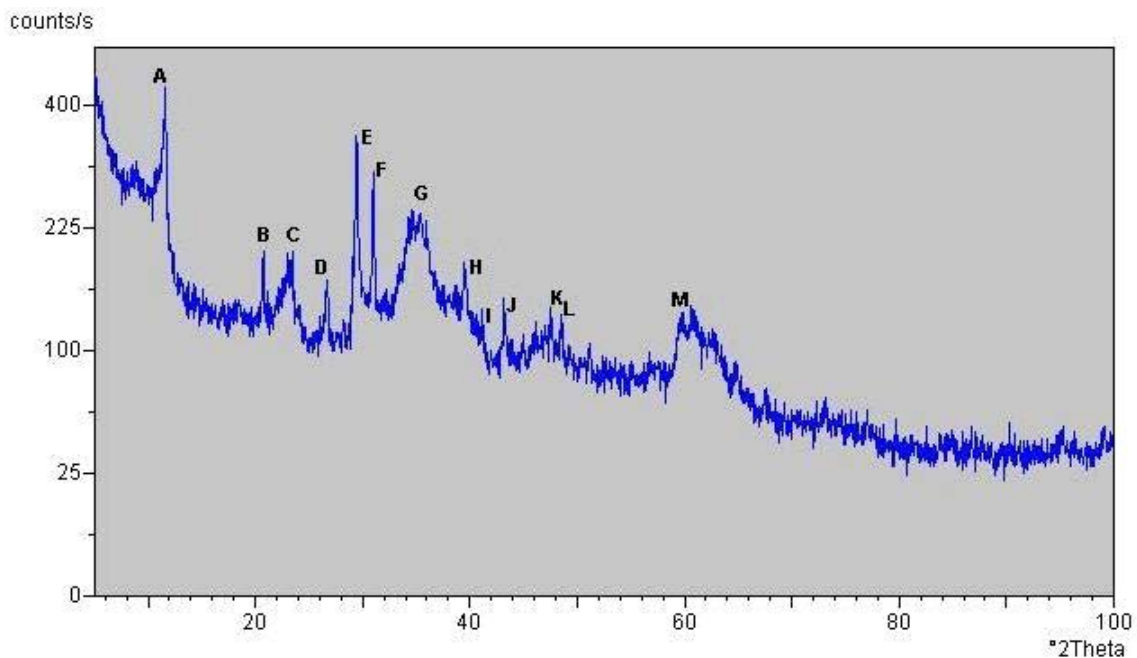
Na determinação da tensão mínima de ruptura a flexão: foi realizada na Máquina Universal de Ensaio marca EMIC, modelo DL2000 (capacidade 2000 Kgf). O mesmo foi realizado a fim de determinar a resistência mecânica dos corpos de prova.⁽¹²⁾

A determinação da absorção de água dos corpos-de-prova cerâmicos foi baseada na norma NBR 15270-1.⁽¹³⁾

Além destes, foram realizados os ensaios de perda ao fogo e retração linear dos corpos de prova.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A difração de raio-x do lodo de fosfatização encontram-se na figura 3.



- | | |
|---|--|
| 1. CaO -Oxido de Cálcio. | 4. (Ca, Mn) CO ₃ – Manganocalcita |
| 2. CaCO ₃ - Calcita | 5. FePO ₄ - Fosfato de Ferro |
| 3. Na _{2,5} (PO ₄ !SO ₄) – Sulfato Fosfato de Sódio | 6. Cu ₅ P ₂ O ₁₀ – Fosfato de Cobre |

Figura 3 - Difratograma da amostra de lodo de fosfatização.

O difratograma não apresenta picos bem definidos, característica de uma amostra que apresenta amorfismo. As fases cristalinas encontradas para a amostra de lodo de fosfatização são: CaO, CaCO₃, Na_{2,5}(PO₄!SO₄), (Ca, Mn) CO₃, FePO₄ e Cu₅P₂O₁₀. Cabe salientar, que o amorfismo apresentado pela amostra dificulta a identificação das fases. Portanto para que seja possível esclarecer a presença ou não destas, o uso de outras técnicas analíticas será necessário, como por exemplo, Microscopia Eletrônica de Varredura com microsonda acoplada (MEV-EDS).

Por outro lado, a análise de difração feita numa amostra da argila utilizada neste trabalho mostrou as seguintes fases bem definidas e cristalinas: SiO₂, AlPO₄, K(Al₂(Si₃AlO₁₀)(OH)₂) e CaSiO₃. Estas fases são características de amostras de argila.⁽¹²⁾

Os resultados apresentados e discutidos a seguir têm como base a possibilidade de aplicação do lodo de fosfatização como adição em tijolo maciço. Considerando ainda que de forma geral as olarias trabalham com temperaturas de queima próximas de 850°C, no sentido de diminuir custos energéticos, esta temperatura será tomada como base para a discussão das melhores possibilidades de adições de lodo no material cerâmico.

Ensaio do Módulo da tensão mínima de ruptura a flexão

Na Figura 4 são apresentados os resultados obtidos para o ensaio de ruptura a flexão.

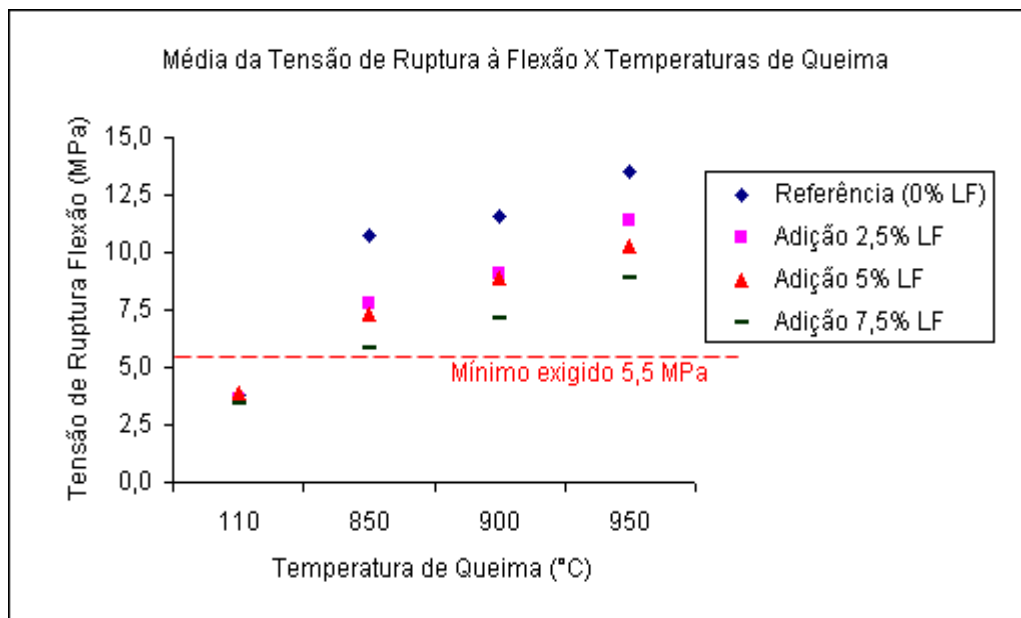


Figura 4 - Resultados obtidos para o ensaio de ruptura a flexão

De acordo com Santos,⁽¹²⁾ a tensão mínima de ruptura a flexão exigida para um corpo-de-prova como o utilizado na presente pesquisa é de 5,5 MPa. Portanto, pode-se verificar pela figura 4, e considerando a temperatura de 850°C como a temperatura de queima, que as adições de 2,5 e 5% de lodo atendem os requisitos ficando

aproximadamente 36% acima do valor mínimo exigido, apesar de a resistência a flexão nesta temperatura ficar 30% menor que o referência.

Com relação à resistência a tensão mínima de ruptura a flexão a seco (110°C), os resultados praticamente não variaram entre o corpo-de-prova com adição de lodo e o referência. O valor encontrado é superior ao mínimo recomendado 2,5 MPa.⁽¹²⁾

Absorção de Água (AA)

Na Figura 5 são apresentados os resultados obtidos para o ensaio de absorção de água (AA)

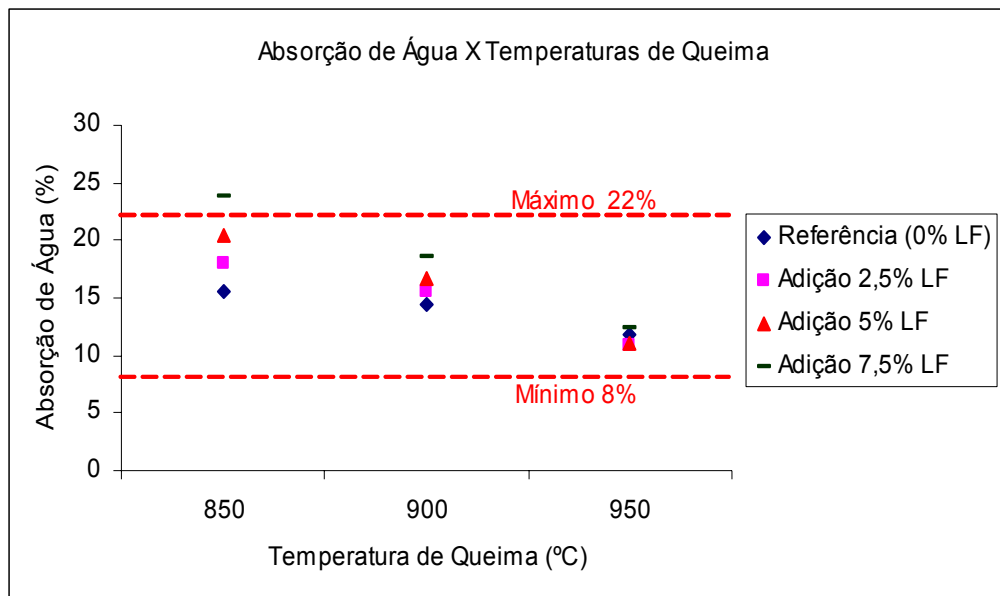


Figura 5 - Resultados obtidos para o ensaio de absorção de água.

Os resultados de AA (Figura 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.⁽¹⁴⁾

O resultado indica um aumento na porosidade do material que aumenta com a concentração do lodo. A porosidade é formada provavelmente pela combustão da matéria orgânica do lodo na queima do material. Esse aumento de porosidade (em média 18 e 20% para os corpos-de-prova com 2,5 e 5%, respectivamente, de adição em relação ao referência) atendem a norma NBR 15270-1/2005⁽¹³⁾, pois são valores inferiores ao máximo recomendado (22%) e superiores ao mínimo recomendado (8%) pela mesma .

Perda ao Fogo

Na Figura 6 são apresentados os resultados obtidos para o ensaio de perda ao fogo.

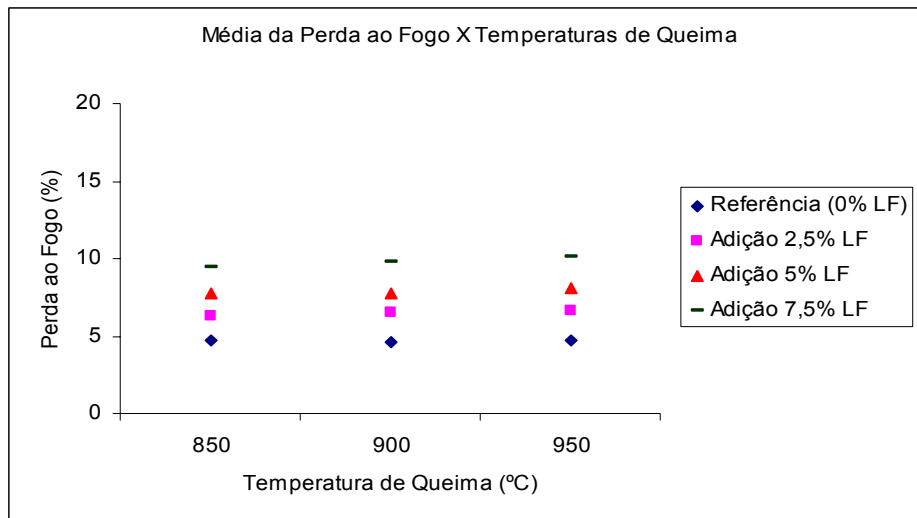


Figura 6 - Resultados obtidos para a perda ao fogo

Houve um aumento em relação a este parâmetro, o que significa que pode ter ocorrido evaporação de material orgânico durante a queima.

Densidade Aparente

Os resultados encontrados para o ensaio de densidade aparente, encontram-se na Figura 7.

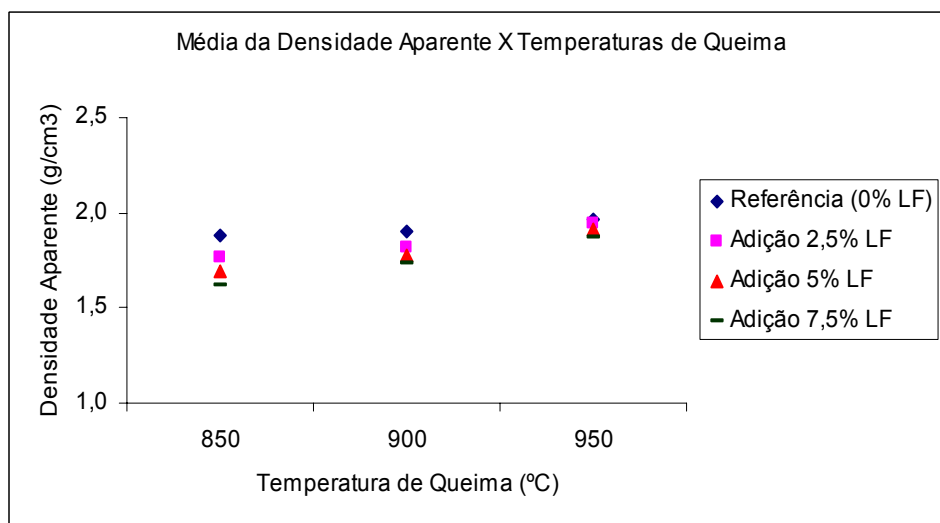


Figura 7- Resultados obtidos para a densidade aparente.

A densidade aparente dos corpos de prova diminui, o que já era esperado, pois houve aumento na porosidade e na perda ao fogo. Para a indústria cerâmica este resultado desde que obedecido os valores máximos para absorção de água e controle das emissões atmosféricas durante a queima se torna um ponto positivo, pois um material mais leve acarreta em menor carga nas edificações, além de menor custo de transporte.

Retração Linear

Os resultados encontrados para o ensaio de retração linear são apresentados na Figura 8.

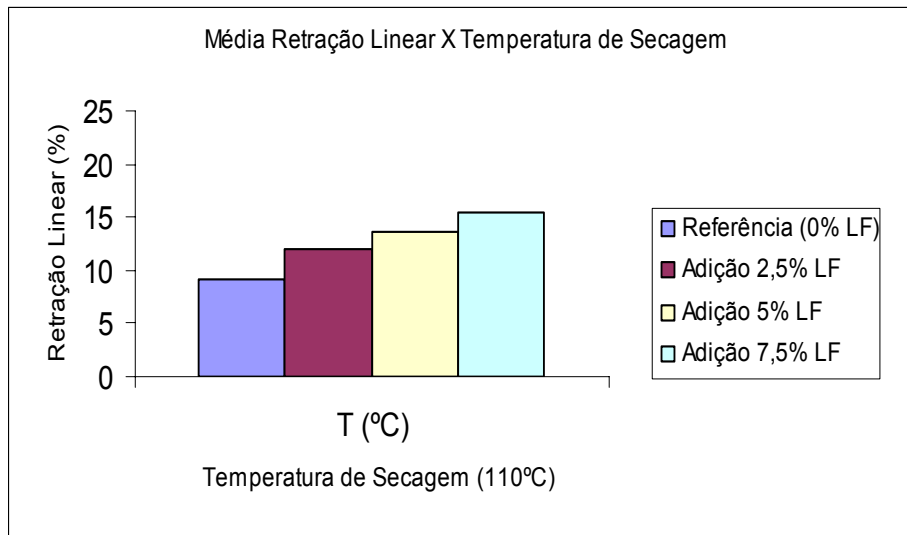


Figura 8 - Resultados obtidos para retração linear

A retração linear não é um parâmetro que tem sua classificação cerâmica normalizada pela ABNT, mas é um importante parâmetro industrial. Quando a cerâmica apresenta-se porosa é caracterizada por baixa retração, na ordem de 3%, o semi-poroso é caracterizado por uma retração de 4-6% e o gresificado por uma retração linear de 8%⁽¹⁵⁾. Na realização dos testes em escala industrial, ao ser calculada a água adicionada à mistura, deverá ser levado em conta o teor de umidade existente no lodo de fosfatização, cujo valor encontrado foi 66,18%.

Avaliação ambiental: argila, lodo de fosfatização e dos corpos-de-prova cerâmicos

As amostras analisadas durante a avaliação ambiental foram: lodo de fosfatização e os corpos-de-prova referência e com 2,5% de adição de lodo de fosfatização (este teor foi escolhido devido aos resultados das propriedades mecânicas), nas temperaturas de 850°C (temperatura usual de trabalho nas olarias) e 950°C (para verificar a influência da temperatura no encapsulamento dos compostos na matriz cerâmica). Os ensaios de lixiviação NBR 10005⁽¹⁶⁾ e solubilização NBR 10006⁽¹⁷⁾ foram realizados na empresa Ecosulting Projetos e Consultoria Ambiental Sociedade Simples. Todos os elementos analisados (As, Ba, Cd, Pb, Cr_t, Hg, Ag, F⁻ e Se) no ensaio de lixiviação para as amostras estudadas não apresentaram lixiviação acima dos limites permitidos pela norma NBR 10004,⁽¹⁸⁾ não sendo caracterizados como resíduos sólidos Classe I – Perigosos.

Na Tabela 3, são apresentados os resultados obtidos para o ensaio de solubilização de acordo com NBR 10006.⁽¹⁷⁾

Tabela 3 - Resultados obtidos para o ensaio de solubilização.

Parâmetros	Referência (0% LF) 850°C	Lodo de Fosfatização	Adição (2,5% LF) 850°C	Adição (2,5%LF) 950°C	Limite de detecção da técnica	Limite Máximo NBR 10004 (ABNT, 2004)
Bário (mg/L)	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,5	0,7
Cádmio (mg/L)	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,005	0,005
Sódio (mg/L)	2,57	66,36	5,075	3,025	0,01	200
Cobre (mg/L)	< 0,0015	0,028	< 0,0015	< 0,0015	0,0015	2,0
Zinco (mg/L)	< 0,0015	1,348	< 0,0015	< 0,0015	0,0015	5,0
Chumbo (mg/L)	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,005	0,01
Cromo total (mg/L)	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	0,003	0,05
Ferro (mg/L)	0,392	0,714	0,602	0,528	0,03	0,3
Manganês (mg/L)	0,032	2,23	0,023	0,031	0,0015	0,1
Fenol (mg/L)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,001	0,01
Dureza (mg/L)	7	976,21	221	450	zero	500,0
Nitrato (mg/L)	< 0,04	0,206	< 0,04	< 0,04	0,04	10,0
Cianeto (mg/L)	< 0,0003	< 0,0003	< 0,0003	< 0,0003	0,0003	0,07
Sulfato (mg/L)	1,63	1516,2	226,42	202,2	1,0	400,0
Surfactantes (mg/L)	0,112	2,41	0,265	0,265	0,01	0,5
Cloreto (mg/L)	6,02	18,16	7,35	6,68	Zero	250,0
Fluoreto (mg/L)	0,085	0,63	0,056	0,065	Zero	1,5

Observando-se os resultados obtidos para amostras estudadas é possível afirmar:

- Lodo de fosfatização

O lodo de fosfatização solubilizou os compostos ferro, manganês, dureza, sulfato e surfactantes acima dos limites permitidos pela norma NBR 10004⁽¹⁸⁾ classificado como resíduo sólido Classe II – Não Inerte.

- Referência (0% adição, temperatura de queima 850°C)

A amostra referência solubilizou o composto ferro acima dos limites permitidos pela norma NBR 10004,⁽¹⁸⁾ sendo classificado como resíduo Classe II – Não Inerte.

- Amostra 2,5% adição LF (temperatura de queima 850°C)

A amostra com 2,5% de adição de lodo de fosfatização, na qual a temperatura de queima usada foi de 850°C, solubilizou somente o elemento ferro acima dos limites permitidos pela norma NBR 10004.⁽¹⁸⁾ Este elemento também foi solubilizado pelas amostras referência e lodo de fosfatização. O valor encontrado para esta amostra é inferior (0,602 mg/L) ao detectado para o lodo de fosfatização (0,714 mg/L), o que caracteriza o encapsulamento do ferro na matriz cerâmica.

- Amostra 2,5% adição LF (temperatura de queima 950°C)

A amostra com 2,5% de adição de lodo de fosfatização, na qual a temperatura de queima usada foi de 950°C, solubilizou o composto ferro. Para o ferro o resultado encontrado é coerente, pois, nesta amostra a quantidade solubilizada é menor do que o

valor encontrado para a amostra com temperatura de queima a 850°C. Este resultado já era esperado, quanto maior a temperatura de queima maior a tendência de encapsulamento na matriz cerâmica.

CONCLUSÕES

Em relação aos resultados obtidos para as propriedades mecânicas e físicas é possível concluir que uma adição de até 5% de lodo de fosfatização no material cerâmico atende as exigências da norma e literatura, considerando as condições experimentais da presente pesquisa.

A caracterização ambiental demonstra que o produto obtido com a adição de 2,5% de lodo de fosfatização no material cerâmico é classificado como Resíduo Sólido Classe II – Não Inerte. Este solubiliza ferro acima dos limites estabelecidos pela norma NBR 10004 (ABNT, 2004). Este elemento também é solubilizado na amostra referência, portanto isto não inviabilizaria seu uso, pois o material cerâmico comercializado pela empresa que cedeu as amostras possuiria a mesma classificação.

REFERENCIAS

- 1 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.
- 2 LEIDEL, D.S. Sand reuse: user requirements, modern casting. Ontário, v.83, July, 1993, p. 38-39.
- 3 PAULI, G. Pollution-zéro, les nouvelles grappes industrielles. Écodécision, printemps, p.26-30. 1995
- 4 BONET, I. I. Valorização do resíduo de areia de fundição (R.A.F.) incorporação nas massas asfálticas do tipo concreto betuminoso usinado a quente. (Dissertação de mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002. 131 p.
- 5 BREHM, F. A.; MORAES, C. A. M.; DAL MOLIN, D.; VILELA, A. C. F. Estudo dos fenômenos físico-químicos relacionados à adição de óxido de zinco (ZnO) em pastas de cimento como contribuição ao estudo de reciclagem de pós de aciaria elétrica (PAE) na construção civil. ENTAC 2006.
- 6 NISHIMO, T. Recovery of Phosphoric Acid from Waste Phosphate Sludge by Dissolution Using Ion Exchange Resin. Journal of Japan Society of Waste Management Experts, 5, 1994, p. 202-208.
- 7 ALTAFIN et al. Utilização De Lodo De Fosfatização Na Produção De Mudanças De Espécies Nativas. Engenharia Ambiental, Espirito Santo do Pinhal, v.1, n.1, jan/dez, 2004, p.045-050.
- 8 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.
- 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. Amostragem de Resíduos Sólidos: NBR 10007. Rio de Janeiro, 2004.
- 11 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15270 - 1
- 12 SANTOS, P. Ciencia e tecnologia de argilas. 2ª ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1989.
- 13 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.
- 14 BORGIO, S.C. Minimização e reciclagem de lodo galvânico e poeira de jateamento. Dissertação de mestrado defendida no Programa de Pos Graduacao em Recursos Hidricos e Ambientais no Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, 2005
- 15 BORLINI M.C. Cerâmicas preparadas a partir de argila sedimentar com adição de cinzas da matéria orgânica do lixo e celulignina do processo de pré hidrólise de biomassas: propriedades mecânicas e inertização de metais pesados. São Paulo, 2002. Dissertação de Mestrado. Engenharia de Materiais. Faculdade de Engenharia Química de Lorena.
- 16 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Lixiviação de resíduos – Procedimentos: NBR 10005. Rio de Janeiro, 2004.
- 17 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Solubilização de resíduos – Procedimentos: NBR 10006. Rio de Janeiro, 2004.
- 18 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Resíduos sólidos – Classificação: NBR 10004. Rio de Janeiro, 2004.