

## GERAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUOS REFRAATÓRIOS EM USINA SIDERÚRGICA INTEGRADA

Bruno Vidal de Almeida, bva@usp.br<sup>1,2</sup>

Robersio Marinho de Faria,

Luis Gustavo Gomes Pereira,

Sidiney Nascimento Silva

Fernando Vernilli Junior,

<sup>1</sup> Escola de Engenharia de Lorena (EEL USP), CEP

<sup>2</sup> Centro Universitário Salesiano de São Paulo (UNISAL), CEP12.609-130

**Resumo:** A manutenção dos diversos equipamentos siderúrgicos da Usina Presidente Vargas da Companhia Siderúrgica Nacional (UPV-CSN) resulta na geração anual de cerca de 11 mil toneladas de resíduos refratários. A grande maioria destes resíduos refratários é descartada em aterros, eliminando de forma definitiva do ciclo produtivo uma importante fonte alternativa de matéria-prima. Nesse contexto, todos os pontos críticos do ciclo da geração e da reciclagem de resíduos refratários no caso particular da CSN foram investigados, objetivando separar e classificar este material para habilitar seu uso como matéria-prima reprocessada para a própria Indústria de Refratários – logística reversa. A implantação do projeto, através de uma solução integrada da UPV, mostrou-se viável técnica e financeiramente. A reutilização destes resíduos refratários também minimiza os impactos ambientais gerados pela produção, consumo e descarte de materiais refratários destinados a produção de aço.

**Palavras-chave:** resíduos refratários, reciclagem, usina siderúrgica.

## REFRACTORY MATERIALS WASTE GENERATION AND CLASSIFICATION OF STEEL MAKING PLANT

**Abstract.** The maintenance of several steel making equipment of the Companhia Siderúrgica Nacional (CSN/Brazil) results in the annual generation of about 11 000 tons of refractory waste. The majority of this refractory waste is disposed in landfill sites, permanently removing of the productive cycle an important alternative source of raw material. In this context, in the particular case of CSN, all critical points of the generation cycle and recycling refractory waste were investigated aiming to use these residues as reprocessed raw material to the Refractory Industry – reverse logistics. The project implementation, through an integrated solution, was technically and financially feasible with an economic return of about US\$ 1 million in terms of net present value. The reuse of this refractory waste also minimizes the environmental impacts generated by the production, consumption and disposal of refractory materials for steel production.

**key words:** refractory waste, recycling, steel plant.

### 1. INTRODUÇÃO

As indústrias de produção e transformação de materiais geram, em maior ou menor grau, resíduos, que nem sempre têm uma destinação de reutilização ou uma disposição ecologicamente adequada. Entretanto, em alguns casos esses resíduos podem ser reutilizados como matérias-primas em outros processos industriais. Assim, eles perdem seus rótulos de poluentes e encontram novas aplicações com elevados valores agregados, com benefício para toda a sociedade e proteção do meio ambiente [MORAES et al. 2011].

No contexto do equilíbrio entre o consumo e a conservação de recursos minerais, energéticos e ambientais, a reciclagem de materiais exerce um papel importante na preservação das escassas jazidas de matérias-primas, reduzindo o consumo de energia, além de reduzir o dano ambiental associado ao processo produtivo [FRITZEN et al. 2006; FERRARI et al. 2002; LIMA et al. 2010].

A elevação de um resíduo industrial à categoria de fonte alternativa de recurso mineral requer a adoção de uma metodologia de qualificação, baseada nas políticas ambientais de classificação e caracterização, além da necessidade da condução de estudos de viabilidade técnica e econômica da aplicação desses resíduos [ROCHA, 2005].

Os problemas ambientais associados à produção, consumo e descarte de materiais refratários constituem uma importante questão ambiental. Vários tipos de materiais refratários são empregados na indústria siderúrgica no revestimento dos diversos equipamentos da metalurgia de redução, metalurgia do aço e processos de laminação e revestimento. Quando os materiais refratários chegam ao fim da sua vida útil, eles são substituídos por refratários novos, fabricados a partir de matérias-primas naturais virgens. Habitualmente após o uso os resíduos dos materiais refratários são eliminados em aterros, desperdiçando-se valiosos recursos naturais [FANG et al. 1999; SMITH et al. 1999; BENNET e KWONG, 1997].

A Indústria Siderúrgica consome cerca de 70% da atual produção de refratários [HANAGIRI et al. 2008]. Desta forma, é fundamental o comprometimento e atuação das usinas siderúrgicas com o desenvolvimento de novas rotas de reutilização de materiais refratários. Além disso, a disposição de resíduos em aterros cada vez mais distantes, aumenta consideravelmente os custos envolvidos [FRITZEN et al. 2006].

A contaminação dos resíduos refratários gerados na indústria siderúrgica por escórias dos processos metalúrgicos, metais, etc., restringem a possibilidade da sua reutilização. O sucesso ou fracasso da reciclagem de resíduos refratários depende fundamentalmente da separação dessas impurezas. Outra barreira citada na literatura é o alto custo da reciclagem em comparação com os benefícios tangíveis gerados [FANG et al. 1999; HANAGIRI et al. 2008].

De acordo com HANAGIRI et al. 2008, do ponto de vista de controle de qualidade, os refratários após uso e demolição devem ser classificados em materiais à base de  $MgO$ ,  $MgO.C$ ,  $Al_2O_3$ , sílico-aluminoso e outros. Ainda assim, esses materiais após classificação podem estar misturados com outros tipos diferentes de refratários, metal e escória. Para remover as suas impurezas e obter faixas granulométricas uniformes, os materiais refratários usados devem ser britados, moidos e peneirados.

O presente projeto teve como principais objetivos agregar valor e promover o destino adequado dos resíduos refratários gerados na UPV-CSN. O beneficiamento dos resíduos foi feito utilizando a capacidade ociosa da Planta de reciclagem de Resíduos de Construção civil e Demolição – RCD. Nesse contexto, todos os pontos críticos do ciclo de geração e reciclagem dos resíduos refratários – demolição, segregação, embalagem, identificação, transporte, recepção, processamento, controle de qualidade e destinação, foram investigados, no sentido de viabilizar técnica e financeiramente a sua aplicação como matéria-prima reprocessada para a própria Indústria de Refratários – logística reversa.

O projeto foi desenvolvido pela CSN através de Convênio de Cooperação Técnica e Econômica com a Escola de Engenharia de Lorena – EEL/USP, com a participação da Magnesita Refratários S.A., Indústria de Refratários.

## **2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL**

O projeto foi composto pelas seguintes etapas: i) avaliação preliminar, ii) pesquisa e desenvolvimento. A diversidade de produtos refratários utilizados na Indústria Siderúrgica demanda um rígido controle de todas as etapas do ciclo de geração e reciclagem dos resíduos refratários – demolição, segregação, embalagem, identificação, transporte, recepção, processamento, controle de qualidade e destinação, no sentido de viabilizar técnica e financeiramente a sua aplicação como matéria-prima reprocessada para a própria Indústria de Refratários.

### **2.1. Avaliação Preliminar**

O levantamento da geração de resíduos refratários na UPV abrangeu os equipamentos da metalurgia de redução (Canais de Corrida dos Altos Fornos e Carros Torpedos) e da metalurgia do aço (Painéis de Gusa, Painéis de Aço, Conversores LD, RH e Distribuidores de Lingotamento Contínuo) que possuem programação regular de reparos de manutenção ao longo do ano. A geração de resíduos refratários foi calculada levando-se em consideração o número de reparos anuais de cada equipamento dos tipos localizado, parcial e geral. Com base nos dados históricos de produção da CSN estima-se um percentual residual de 20 a 30% dos refratários originalmente aplicados. Neste trabalho é apresentada a caracterização dos resíduos refratários de Canal de Corrida.

### **2.2. Pesquisa e Desenvolvimento**

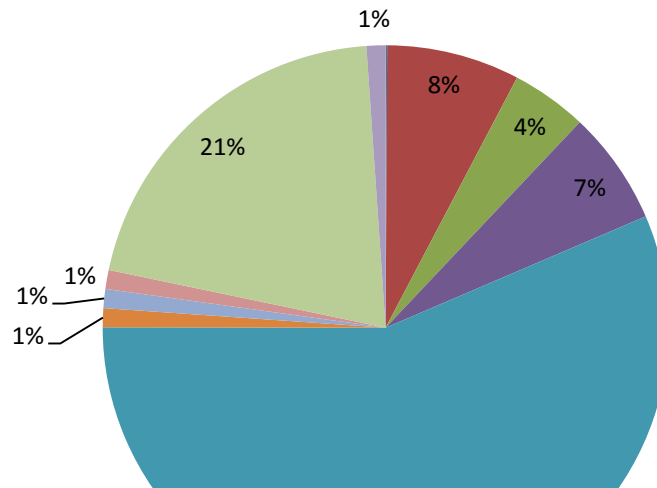
Amostras dos materiais coletados após segregação manual foram submetidas a um processo de beneficiamento em escala piloto para efeito de avaliação preliminar da viabilidade técnica e econômica e decisão de destinação. Os materiais refratários foram cominuídos na planta de escala piloto nas frações 19,00 - 4,75 mm, 4,75 - 2,36 mm e abaixo de 2,36 mm. Essas frações foram submetidas à separação em tambor magnético de 5000 - 6000 Gauss. Em seguida, as diferentes frações granulométricas magnéticas e não magnéticas foram caracterizadas em termos de composição química, teor de carbono combinado, umidade, perda ao fogo, massa específica aparente (MEA), porosidade aparente (PA), composição mineralógica e análise microestrutural via Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV).

## **3. RESULTADO E DISCUSSÃO**

Para efeito de aplicação, validação e implantação do projeto e considerando ainda a questão logística, os diversos resíduos refratários foram classificados em seis diferentes famílias de matérias-primas reprocessadas, conforme ilustrado na Tabela I. A UPV/CSN gera anualmente 11 mil toneladas de resíduos refratários, sendo que a metalurgia do aço é responsável por cerca de 85% dessa geração, Figura 1. Neste trabalho serão apresentados os resultados do processamento dos resíduos de Canal de Corrida de Alto Forno, classificado como família 1.

**Tabela I – Famílias de matérias-primas reprocessadas.**

| Família | Equipamento ou componente refratário                                 |
|---------|--|
| 1       | Canal de Corrida de Alto Forno                                       |
| 2       | Carro Torpedo  |
| 3       | Panela de Gusa e de Aço, RH, Válvulas da Panela de Aço, Distribuidor |
| 4       | Conversor LD   |
| 5       | Válvula Gaveta do Distribuidor e da Panela de Aço                    |
| 6       | Tubo Longo   |

**Figura 1 – Geração anual de resíduos refratários na UPV/CSN**

A matéria-prima reprocessada dos Canais de Corrida é constituída essencialmente de alumina, sílica, carbetto de silício e óxido de cálcio nas formas cristalinas de coríndon, tridimita, cristobalita e quartzo, mulita, carbetto de silício e gelenita, fases detectadas via difração de raios X. Este resíduo possui 50% de material magnético na forma de magnetita, que se concentra na fração fina deste material.

Após a separação magnética houve uma redução de 86% do teor total de gusa, expresso em termos de  $Fe_2O_3$ , Tabela I. Em adição, não foi observada a presença residual da fase ferro-magnética. Este material apresentou menor densidade e maior porosidade, evidenciando a eliminação de grande parte dos grãos infiltrados.

Os finos apresentam 92,70% de material magnético. Após a cominuição, a fração  $19,00 < x < 4,75$  mm apresentou 18,90% de material magnético, similarmente a fração  $-4,75 +2,36$  mm que apresentou 22,6% de material magnético. Já a fração passante na peneira 2,36 mm possui 77,8% de materiais magnéticos, revelando a concentração das fases magnéticas nas frações mais finas. Os resultados DRX para as frações  $19,00 < x < 4,75$  mm,  $4,75 < x < 2,36$  mm e  $x < 2,36$  mm mostra que as frações são compostas por alumina, quartzo, mulita, carbetto de silício e gelenita, anortita e titanato de ferro. A fração dos finos iniciais após a separação magnética apresentou a fase hercinita ( $FeO.Al_2O_3$ ) além das fases citadas para as outras frações.

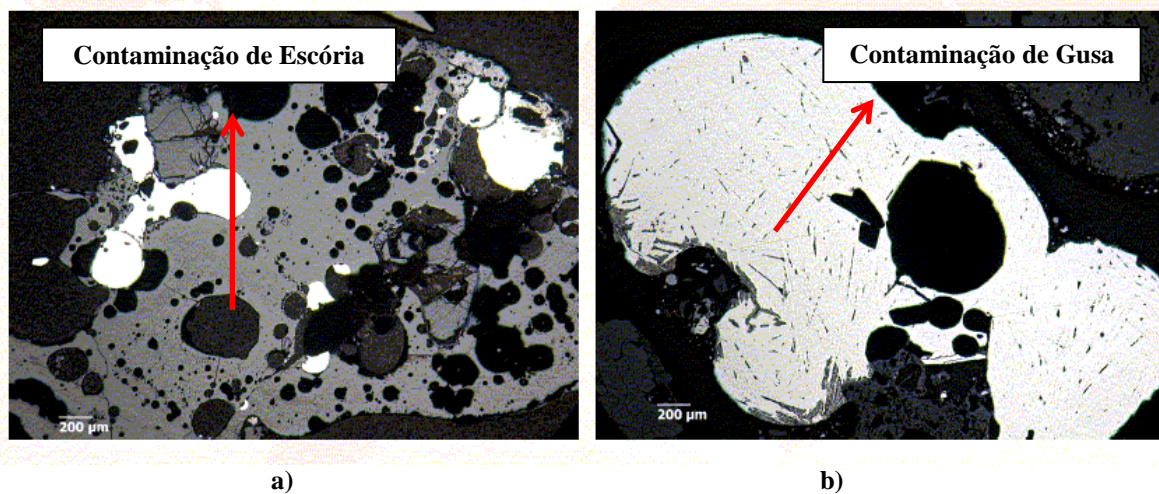
**Tabela I – Caracterização da fração não magnética o resíduo refratário dos Canais de Corrida dos Altos Fornos.**

| RESULTADOS (%) | FRAÇÃO GRANULOMÉTRICA |             |         |           |
|----------------|-----------------------|-------------|---------|-----------|
|                | 19,00/4,75mm          | 4,75/2,36mm | <2,36mm | (*) Finos |
| $Al_2O_3$      | 42,38                 | 61,69       | 49,10   | 27,01     |
| $SiO_2$        | 24,47                 | 17,76       | 27,15   | 57,42     |
| SiC            | 6,08                  | 7,65        | 8,31    | 6,08      |
| CaO            | 18,80                 | 7,42        | 9,82    | 4,11      |
| $Fe_2O_3$      | 2,46                  | 1,77        | 1,68    | 3,12      |
| $TiO_2$        | 1,14                  | 1,37        | 1,36    | 0,65      |
| MgO            | 3,29                  | 1,46        | 1,69    | 1,01      |
| $Na_2O$        | 0,25                  | 0,19        | 0,24    | 0,13      |

|                                |      |      |      |      |
|--------------------------------|------|------|------|------|
| K <sub>2</sub> O               | 0,23 | 0,20 | 0,25 | 0,18 |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,19 | 0,09 | 0,11 | 0,08 |
| MnO                            | 0,52 | 0,18 | 0,14 | 0,09 |
| ZrO <sub>2</sub>               | 0,13 | 0,23 | 0,12 | 0,09 |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,06 | 0,01 | 0,02 | 0,01 |
| C combinado                    | 1,82 | 2,29 | 2,49 | 1,82 |
| Umidade                        | 0,37 | 1,13 | 0,68 | 0,28 |
| Perda ao Fogo                  | 1,30 | 1,77 | 1,69 | 1,27 |

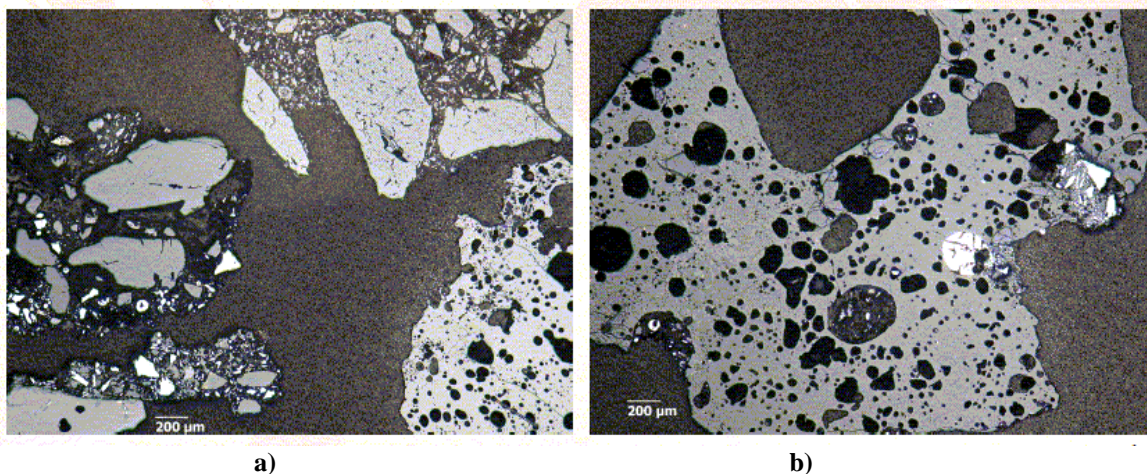
(\*) Material abaixo de 2,36mm da amostra após segregação, antes da cominuição.

A caracterização microestrutural foi realizada por meio de Microscopia Eletrônica de Varredura, associada com uma sonda de energia dispersiva (MEV - EDS). A Figura 2 (a) revela a presença de agregados refratários contaminados com escória e gusa e a Figura 2(b) ilustra em detalhe um fragmento metálico. Entretanto, após separação magnética (fração  $4,75 < x < 2,36$  mm) as amostras apresentaram nenhuma ou pouca infiltração de escória nos agregados refratários e não foram observadas infiltrações com gusa nestas amostras, revelando o grau de liberação destes elementos contaminantes encontra-se dentro desta faixa granulométrica citada.



**Figura 2** – Micrografia da fração de  $4,75 < x < 2,36$ mm do resíduo refratário dos Canais de Corrida dos Altos Fornos antes da separação magnética: a) partícula de contaminação de escória e b) partícula de contaminação de gusa.

A Figura 3 (a) ilustra a presença de agregados livres de contaminação e agregados contaminados com escória e a Figura 3 (b) ilustra fragmentos de refratários corroídos por escória, mas livres de infiltração de gusa. Os resultados das diversas caracterizações realizadas sinalizaram a viabilidade técnica do beneficiamento dos resíduos refratários dos Canais de Corrida dos Altos Fornos para aplicação como matéria-prima reprocessada na Indústria de Refratários devido à redução da presença dos elementos contaminantes (gusa e escória) após ocorrer a liberação destes elementos em função do processo de cominuição utilizada.



**Figura 3** – Micrografia da fração de  $4,75 < x < 2,36$  mm do resíduo refratário dos Canais de Corrida dos Altos Fornos após separação magnética: a) ilustra a presença de agregados livres de contaminação e agregados contaminados com escória, e b) ilustra fragmentos de refratários corroídos por escória, mas livres de infiltração de gusa.

#### 4. CONCLUSÃO

A segregação e beneficiamento dos resíduos refratários gerados na UPV / CSN para reutilização na Indústria de Refratários como matéria-prima reprocessada, logística reversa, apresentou-se viável tecnicamente e economicamente, além disso, ainda é capaz de minimizar os impactos ambientais inerentes à esta atividade industrial. Em adição, a transformação destes resíduos refratários em nova fonte alternativa oferece duas grandes vantagens ao meio ambiente: preserva as finitas reservas de minerais naturais e reduz a geração de resíduos refratários.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Companhia Siderúrgica Nacional, CSN, a Magnesita Refratários pelo apoio técnico e ao CNPq pelo financiamento do projeto.

#### 6. REFERÊNCIAS

- MORAES, G. G.; NETO, J.B.; HOTZA, D.; OLIVEIRA, A. P. N.; OLIVEIRA, B.G. e OLIVEIRA, T. H. M. N. “Produção e Caracterização de Espumas Cerâmicas Obtidas a partir de Lodo de Anodização de Alumínio”. Química Nova, 1-6, 2011.
- FRITZEN, N.; SERPA, E. N.; KNISS, C. T.; RIELLA, H. G. Desenvolvimento de um material vítreo a partir de um resíduo do setor de Fundição. 17.º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 2006.
- FERRARI, K. R. et al. Ações para a diminuição da geração de resíduos na Indústria de Revestimentos Cerâmicos e a reciclagem das raspas. Cerâmica Industrial, v. 7, 38-41, 2002.
- ROCHA, T. B. Estudo das propriedades de cerâmicas refratárias formuladas com resíduos industriais. Trabalho de graduação (Engenharia de Materiais), Universidade Federal de Santa Catarina, Aveiro, Portugal, 2005.
- FANG, H.; SMITH, J.D.; PEASLEE, K.D. Study of spent refractory waste recycling from metal manufacturers in Missouri. Resources, Conservation and Recycling, 25, 111–124, 1999.
- SMITH, J.D.; FANG, H.; PEASLEE, K.D. Characterization and recycling of spent refractory wastes from metal manufactures in Missouri. Resources, Conservation and Recycling, 25, 151–169, 1999.
- BENNET J.P.; KWONG, K.S. Recycling practices of spent MgO-C refractories. J Min Matls Charact, 1:69 – 78, 2002.
- HANAGIRI, S.; SHIMPO, A.; INUKUZA, T.; SAKAKI, S.; MATSUI, T.; ASO, S.; MATSUDA, T.; NAKAGAWA, H. Recent improvements of recycling technology for refractories. Nippon Steel Technical Report, v. 98, 93, 2008.
- LIMA, D. F.; JUNIOR, A. F. O.; SILVA, G. F. B. L.; NOVAIS, C. C. Reciclagem de refratários após uso: desenvolvendo sustentabilidade – caracterização dos co-produtos refratários produzidos na Aciaria. 41.º Seminário de Aciaria Internacional, Resende, RJ, 2010.

#### 7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.