

## ALTERNATIVAS DE APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS PARA FABRICAÇÃO DE REFRAATÓRIOS

Raí Batista de Sousa<sup>1</sup>  
Rafaela Amanda Rodrigues dos Santos<sup>2</sup>  
Francisca Maria Martins Pereira<sup>3</sup>

### INTRODUÇÃO

Os resíduos provenientes da indústria, em especial da indústria cerâmica, são majoritariamente descartados na natureza sem nenhuma finalidade prática. Tal descarte, além de representar um grave problema ambiental, também qualifica desperdício, uma vez que os recursos são escassos. No Brasil, uma lei de 2010 instituiu o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), dando o pontapé inicial no que concerne à regulamentação ambiental desses resíduos. No que compete aos resíduos sólidos industriais, a PNRS prevê diversas obrigações para o setor produtivo, tal como adequado gerenciamento dos resíduos sólidos industriais, tendo a opção de se fazer o reuso, redução ou a reciclagem. O plano prevê ainda alguns benefícios, como por exemplo, desonerações fiscais e facilidade de crédito [1]. Na indústria cerâmica, é extremamente comum que muita matéria-prima seja desperdiçada logo após o processamento industrial do material. Ainda assim, a indústria visa otimizar processos, reduzir custos e aumentar sua margem de lucro, e sob essas condições, todo e qualquer desperdício representa perdas reais no faturamento industrial. Diante dessa problemática, uma das alternativas viáveis para contornar esse problema seria destinar esses resíduos para a fabricação de refratários.

No Brasil, a produção de refratários saiu de um patamar, no ano de 1998, de 427 mil toneladas, para 543 mil toneladas em 2008. Isto se deu, principalmente, graças ao grande potencial brasileiro para exportações, evidenciando a vocação do país como excelente fornecedor de refratários para a indústria [2]. Desse modo, conforme Lobato (2009), os “refratários representam um segmento estratégico de destacada importância, porque todos os processos industriais que utilizam calor dependem diretamente dos refratários, em especial a indústria de base”. Durante a aplicação, os refratários possuem as funções de suportar elevadas temperaturas, resistir à esforços mecânicos cíclicos, resistir à corrosão, suportar cargas sólidas e líquidas, etc. [2]. De fato, tem-se uma vasta gama de situações que necessitam de uma observação crítica, pois desde a fabricação do ferro gusa, matéria-prima necessária para fabricação do aço, uma liga de Fe-C, até a fabricação do tijolo de alvenaria comum, é possível apontar desperdícios, seja com a escória, seja com produtos disformes provenientes de problemas nas etapas de processamento do produto. Como um dos principais processos industriais que utiliza materiais refratários é o siderúrgico, é nele que se concentram os mais efetivos esforços, pois a escória de alto forno é rica em compostos refratários, tais como SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO e também, CaO. A maioria dos compostos citados anteriormente são matérias-primas para a fabricação de refratários, que por sua vez são utilizados no processo de produção, sendo necessário um estudo de reaproveitamento desses resíduos. Sabe-se ainda que os

<sup>1</sup>Graduando do Curso de Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Cariri - UFCA, [raibatistafb@hotmail.com](mailto:raibatistafb@hotmail.com)

<sup>2</sup>Graduanda do Curso de Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Cariri - UFCA, [rafaela\\_amanda92@hotmail.com](mailto:rafaela_amanda92@hotmail.com)

<sup>3</sup> Professora orientadora: Doutora, Universidade Federal do Cariri - UFCA, [francisca.martins@ufca.edu.br](mailto:francisca.martins@ufca.edu.br)

materiais refratários podem ser classificados de duas formas: segundo a sua composição química e baseado na sua interação com as escórias. Os refratários classificados segundo a sua composição química, são formados majoritariamente por algum componente em particular. Exemplos disso são refratários a base de alumina, sílica, dentre outros. Os refratários que possuem interação com as escórias, podem ser classificados como ácidos, que reagem com escórias básicas; básicos, que reagem, com escórias ácidas; e por fim, neutros, que não são reativos com escórias ácidas ou básicas [3].

Com relação à composição química e mineralógica, esta varia muito nos materiais refratários, haja vista que os minerais empregados na produção apresentam muitas vezes composição complexa. Por isso, a seleção do material refratário dependerá das temperaturas dos processos, da agressividade do meio, e do mecanismo físico-químico predominantes. Além da indústria siderúrgica, a indústria de sintetização de cimento também é uma grande consumidora de materiais refratários, assim como a indústria petroquímica e de materiais não ferrosos e suas ligas [2, 4].

Presotto (2012) afirma que “a utilização de resíduos industriais na produção de novos materiais tem sido uma alternativa aplicada pelas indústrias, já que as favorece em termos econômicos e ambientais”. Além disso, a indústria cerâmica se destaca nessa vertente, haja vista que possui grande volume de produção, possibilitando a formação de elevada quantidade de rejeitos [5]. Por isso, é extremamente recomendável que haja um reaproveitamento de parte desses resíduos.

O desenvolvimento limitado dos recursos em escala comercial, o poder de barganha dos principais fornecedores, oferta e qualidade, e principalmente os preços, são fatores bastante importantes e que viabilizam o interesse dos produtores nas matérias-primas secundárias, vulgo resíduos industriais, para a fabricação de refratários. As novas perspectivas de reutilização de matéria-prima secundária recaem sobre os resíduos industriais, bem como sobre os próprios materiais refratários já utilizados. Matérias-primas como a escória do aço, cinzas volantes, vidro, papel, e lama vermelha, por exemplo, são essenciais para o desenvolvimento de refratários com menor custo de produção, pois dispensa a etapa onerosa de extração mineral, bem como de processamento do minério, sendo necessária apenas uma readequação das suas propriedades [6].

O aproveitamento de resíduos industriais para fabricação de outros produtos, incluindo-se os refratários, é um desafio antigo, com poucos trabalhos desenvolvidos com essa especificidade, mas que seu estudo proporcionará, sem sombra de dúvidas, grande avanço na área ambiental e sustentável, evitando que resíduos sejam depositados na natureza sem antes passarem por um reuso. Além disso, esse nicho, por ser ainda pouco explorado, é um dos principais pontos problemáticos na indústria, uma vez que conforme a PNRS citada anteriormente, a indústria tem que, além da produção do produto, dimensionar um fim para seus rejeitos, sendo incentivada tanto social como economicamente nas medidas que por ventura venham a ser tomadas.

O principal objetivo do presente trabalho é apresentar através de uma revisão bibliográfica, os caminhos de destinação de resíduos industriais para a produção de alguns materiais refratários, dentre os mais diversos existentes.

## **METODOLOGIA**

A metodologia do trabalho consistiu numa revisão bibliográfica, na análise de alguns caminhos de destinação de resíduos industriais para a produção de alguns materiais refratários e na observação externa dos setores impactados com o estudo.

## DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento da indústria de materiais refratários leva consigo o aprimoramento das técnicas de preparo da matéria-prima e produção das peças. As mais diversas práticas de processamento tornam ainda mais necessário o estudo do reuso e até mesmo descarte correto dos produtos disformes. Diante desse paradoxo, o trabalho, ainda em condições consideradas iniciais de aplicação, segue a linha da sustentabilidade no que tange à destinação de resíduos refratários para a fabricação de outros componentes.

Assim, Presoto (2012) afirma que “o surgimento de novas tecnologias, crescimento populacional e o aumento de pessoas em centros urbanos e a diversificação do consumo de bens e serviços, os resíduos se transformaram em graves problemas urbanos com um gerenciamento oneroso e complexo.” [5]. Com isso, Presoto (2012) diz que “uma das formas de solução para os problemas citados é a reciclagem de resíduos, essencial para o desenvolvimento sustentável de qualquer país, uma vez que a geração desses é inevitável” e complementa afirmando que “as vantagens potenciais da reciclagem para a sociedade são: a preservação de recursos naturais, a economia de energia, a geração de empregos, a redução da poluição, o volume de aterros, entre outros.” [5].

Tendo em mente todas essas características, a consistência apresentada no trabalho coincide com as dos estudos outrora citados como material de referência, dependioso desses estudos e que contrastam com os interesses dos autores, uma vez que a explanação das técnicas de reutilização dos resíduos de materiais são o foco objetivo da pesquisa.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A produção de refratários é uma tarefa indispensável tanto no cotidiano, quanto na indústria, pois tudo que envolve processamento sob elevadas temperaturas, necessita de estruturas capazes de suportar além das elevadas temperaturas, apresentarem também excelente resistência química e à corrosão, às tensões, à pressão, dentre outras.

Sutcu *et al.* (2011) avaliaram a adequação de argila contendo álcali e argila refratária de baixo teor alcalino juntamente com resíduos de papel reciclado na produção de tijolos refratários de anortita porosa. As misturas foram preparadas, secadas e em seguida queimadas. Propriedades físicas como densidade aparente, porosidade aparente e resistência mecânica foram avaliadas. Observaram que as amostras produzidas a partir de resíduos refratários e papel reciclado possuíam valores de condutividade elétrica e densidade menores, respectivamente, decaindo de 0,25 W/mK (1,12 g/cm<sup>3</sup>) para 0,13 W/mK (0,64 g/cm<sup>3</sup>). Além disso, observaram que as cerâmicas produzidas a base de anortita podem ser usadas como isolamento em situações de elevadas temperaturas [7].

Sobrosa (2014) em seu estudo para o desenvolvimento sustentável do país, utilizou sílica proveniente da queima da casca de arroz (SCA) para substituir parcialmente a argila utilizada para fabricação de refratários. Foi observado que as propriedades mecânicas aumentaram em função do aumento do teor de SCA, em virtude do empacotamento da mistura granular ter aumentado. No entanto, à medida que se aumentou o teor de SCA, o refratário obtido se tornou mais frágil, possuindo resistência ao choque térmico inferior. Não foram encontradas variações nos valores de retração linear, mas, a porosidade aparente e a absorção de água diminuíram com o aumento do teor de SCA [8].

Alves (2016) estudou a influência da incorporação do resíduo de caulim obtido na segunda etapa de beneficiamento de caulins primários na sintetização da mulita, um composto à base de alumina que é muito empregado na fabricação de refratários, visto que possui

excelentes propriedades. Para tanto, fabricou corpos de prova prensados uniaxialmente e sinterizados em temperaturas entre 1300°C e 1500°C. Os resultados indicaram que a mulita foi obtida a partir de 1300°C, e que a concentração do resíduo de caulim aumentou a densificação, uma vez que favoreceu a sinterização via fase líquida. Por fim, o estudo demonstrou que é possível obter mulita com até 94% de densidade relativa a temperaturas próximas a 1300°C [9].

Poirier (2013) estudou a possibilidade do reuso de refratários isostáticos de grafite de alumina como um componente da mistura de matérias primas para produção de tijolos para serem aplicados como carros torpedo (*torpedo ladles*), utilizados na indústria siderúrgica. Viram que uma reciclagem de 30% da matéria-prima de  $Al_2O_3-C$  foi satisfatória, uma vez que minimizou impacto ambiental, reduziu os custos de descarte, e melhorou a qualidade das matérias-primas (coríndon, zircônia), verificaram ainda que as características obtidas com os refratários reciclados de carbetto de silício/grafite-alumina eram semelhantes às dos produtos usuais [10].

Expostos, os resultados demonstrados interceptam o eixo central do estudo, que visa analisar as destinações mais assertivas no que concerne à reutilização de resíduos na indústria refratária. Além disso, nota-se que não são tarefas fáceis promover as destinações corretas e através delas, obter recursos econômicos que tornem os processos minimamente onerosos.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os avanços na área de Ciência e Engenharia de Materiais ocorrem sempre que novos trabalhos e novas pesquisas são desenvolvidos com o intuito de aproximar da realidade algumas problemáticas cotidianamente enfrentadas. No presente trabalho, o principal foco foi apresentar breves alternativas às problemáticas que surgem com a produção dos materiais, quaisquer que sejam elas. Além disso, existem muitos desafios para serem enfrentados nesse campo, pois as soluções na maioria das vezes não são fáceis, ainda mais num período tão conturbado como o atual. Diante das perspectivas mais otimistas, a indústria com sua incansável busca pela otimização dos processos produtivos e consequente redução dos custos com matéria-prima e processamento destas, veem nos resíduos uma oportunidade de lucrar e de maneira consequente, diminuir ou minimizar os trágicos problemas ambientais que são causados pelo descarte desses resíduos na natureza.

De maneira geral, a noção de que os recursos são escassos é cada vez mais presente, e nessa vertente, a sustentabilidade tem se mostrado como um ótimo caminho a se seguir. Todavia, é extremamente necessário que pesquisas e estudos na área de reutilização de resíduos da indústria sejam intensificadas, não só com o intuito de utilizá-los apenas na fabricação de refratários, mas também em outros setores de materiais. Assim, o reaproveitamento de muitos resíduos, como demonstrado nesse estudo ainda inicial, só foi possível graças ao empenho dos pesquisadores na área, com visão futurística e sustentável. Portanto, estudos de direcionamento devem ser iniciados com a prerrogativa de por exemplo, dar uma finalidade aos rejeitos da mineração, uma atividade muito explorada no Brasil, aos produtos cerâmicos disformes provenientes das olarias, dos processos siderúrgicos, e áreas afins.

**Palavras-chave:** Fabricação de refratários; indústria de resíduos, reaproveitamento.

## REFERÊNCIAS

- [1] IPEA. **DIAGNÓSTICO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS**. Disponível em: <[http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/120927\\_relatorio\\_residuos\\_solidos\\_industriais.pdf](http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/120927_relatorio_residuos_solidos_industriais.pdf)> Acessado em 18 de março de 2019.
- [2] LOBATO, E. **Relatório técnico. 71 – Refratários**. Ministério de Minas e Energia, 2009.
- [3] SURENDRANATHAN, A. O. **An Introduction to Ceramics and Refractories**. CRC Press. 2015.
- [4] HANUSKOVÁ, M.; CANNIO, M. **Os materiais refratários**. Cerâmica Informação, Florianópolis, n. 63, p. 24-29, 2011.
- [5] PRESOTTO, P. **Desenvolvimento de novos materiais cerâmicos a partir de resíduos da mineração de serpentinito: obtenção e caracterização**. Dissertação (Dissertação em Engenharia e Ciência dos Materiais) – UFPR. Curitiba, p.16, 30. 2012.
- [6] O’Driscoll, M. Recycling Refractories. **Glass International March**, 2016, p.37-38, 2016.
- [7] SUTCU, M.; AKKURT, S.; BAYRAM, A.; ULUCA, U. **Production of anorthite refractory insulating firebrick from mixtures of clay and recycled paper waste with sawdust addition**. *Ceramics International*, ISSN: 0272-8842, Vol.: 38, Edição: 2, Página: 1033-1041, 2012.
- [8] SOBROSA, F. Z. **Desenvolvimento de materiais cerâmicos refratários com adição da sílica residual proveniente da queima da casca de arroz**. Dissertação (Dissertação em Engenharia – Tecnologia de Materiais) – UNIPAMPA. 2014.
- [9] ALVES, H. P. A. **Utilização do delineamento de misturas de caulim, resíduo do caulim e alumina para obtenção de cerâmicas à base de mulita**. Dissertação (Dissertação em Ciência e Engenharia de Materiais) – UFPB. 2016.
- [10] POIRIER, J. **Use of Secondary Alumina-graphite as Raw Material of Alumina-graphite Silicon Carbide Refractories**. Refractories WordForum, 2013.