

## **DESAFIOS TÉCNICOS NO PROCESSAMENTO DE RECICLADOS**

Matheus Naves Moraes\*, Gustavo Geraldo Rezende Nogueira, Fernanda Teixeira  
Silveira

RHI Magnesita, Contagem, Brasil

\*Matheus.naves@rhimagnesita.com

A reciclagem de materiais refratários apresenta benefícios como a menor dependência de matérias-primas, principalmente importadas, redução de custo e solução de resíduos para os clientes. Entretanto o potencial para reduzir a pegada de carbono dos produtos é um dos fatores que vem ganhando maior destaque tanto para os produtores quanto para os consumidores de refratários. Este artigo apresenta uma visão geral dos desafios técnicos para potencializar o uso de reciclados, desde a pré-seleção no desmonte, passando pela separação de classes de produtos, estabilização de contaminantes e, por fim, a preparação granulométrica para retorno aos produtos.

## 1. INTRODUÇÃO

A contribuição da pegada de carbono de produtos refratários para produção de aço e cimento, suas principais aplicações, é relativamente pequena [1] e as maiores ações destas indústrias estão voltadas para novas tecnologias produtivas [2]. Entretanto, consumidores de refratários estão migrando para exigir de seus fornecedores produtos com maior segurança na aplicação e menor impacto ambiental, onde se destaca a pegada de carbono, preferencialmente com quantificação das emissões.

Na produção de refratários, a pegada de carbono é altamente dependente de suas matérias-primas (entre 60 e 90%), além de contribuição importante do processo produtivo, sendo que a etapa de queima representa aproximadamente 10% da emissão de um tijolo que passa por esse processo [1].

Dentre as matérias-primas, também existe uma grande variabilidade de pegadas de carbono, dependendo da origem do material, o processo produtivo, logística de transporte e quantidade aplicada. A tabela 1 mostra a pegada de carbono para matérias-primas relevantes na produção de refratários.

Tabela 1 – Pegada de carbono de matérias-primas refratárias [1;3].

<b>Matéria-Prima</b>	<b><i>kg<sub>CO2</sub>/t</i></b>
Sinter Magnésiano	1500-1900
Magnesia Eletrofundida	2600-5000
Chamote	675
Carbeto de Silício	5770
Alumina Calcinação	717
Alumina Tabular	2876
Alumina Eletrofundida Escura	1000-1200
Alumina Eletrofundida Branca	1000-1300

Com a alta representatividade da pegada de carbono das matérias-primas, a utilização de refratários reciclados é uma oportunidade latente para redução deste indicador, o que vem promovendo uma mudança no mercado produtor e consumidor. Visto que apenas o transporte e um processamentos simples são aplicados, a redução de emissões pode superar 90% da matéria-prima original (como exemplo para a magnésia sinterizada e eletrofundida).

Os benefícios da utilização de reciclados, porém, vão além da redução da pegada de carbono. Como benefícios adicionais podem ser citados a menor dependência de matérias-primas importadas, e sua complexidade logística combinada a imprevisibilidade de custo, redução de volume a ser disposto em aterros, menor risco de disputas judiciais por condições de aterro e vantagem competitiva por fornecer uma solução ao cliente para produto e resíduo gerado [4;5].

## **2. DESAFIOS PARA AMPLIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE RECICLADOS**

A utilização de reciclados em refratários é dependente da qualidade e estabilidade de seu processamento, assim como o percentual que as matérias-primas primárias podem ser substituídas.

O processamento pode ser dividido em algumas etapas. A primeira etapa é o desmonte do revestimento refratário no usuário, segunda a separação em classes de materiais, terceira a estabilização de contaminantes e fases mineralógicas indesejadas e, por fim, a preparação para utilização em produtos refratários [5]. A figura 1 ilustra esse fluxo de processo.

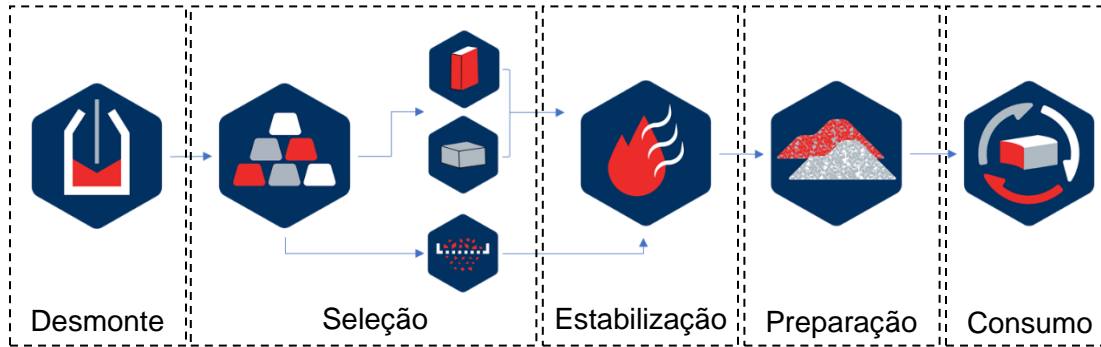


Figura 1 – Fluxo de processamento de reciclados.

Assim, os desafios para maximizar o uso de reciclados estão descritos segundo as etapas do processamento.

## 2.1 DESMONTE DO REVESTIMENTO REFRAATÁRIO

O desmonte do revestimento refratário tem influência direta na complexidade dos processos posteriores. Quanto mais seletivo for feito o desmonte, já separando famílias de produtos refratários conforme o desenho do projeto, mais simples será o processamento e maior a substituição da matéria-prima original por reciclado.

Como exemplo, pode-se utilizar o desmonte de uma panela de aço. Muitas vezes há utilização de tijolos de magnésia carbono e magnésia-alumina carbono no mesmo revestimento, mas em posições diferentes (linha de aço e linha de escória). Com um desmonte seletivo essas famílias podem ser separadas em campo. Entretanto, se enviadas juntas para a seleção a diferenciação é muito dificultada, levando a uma contaminação de alumina nos tijolos de magnésia carbono, que limita o seu uso posterior. A figura 2 ilustra o desmonte de uma panela de aço e de um distribuidor, demonstrando a mistura de classes de produto.



Figura 2 – Desmonte de panela de aço (esq.) e distribuir de aço (dir.).

A dificuldade de se operacionalizar o desmonte seletivo é o maior prazo para realização do processo, diminuindo a disponibilidade do equipamento. Como na maioria dos casos a empresa realizando o desmonte não é a responsável pela reciclagem posterior, há prevalência da agilidade em detrimento da qualidade da separação no desmonte. Portanto, a integração dos processos de desmonte e reciclagem é fundamental para um melhor aproveitamento do material gerado.

## **2.2 SELEÇÃO DE MATERIAIS RECICLADOS**

A seleção de reciclados em famílias é o processo mais importante e amplo para maximização da sua utilização, garantindo uma homogeneidade química e mineralógica do produto.

O processo amplamente utilizado para essa etapa é a seleção manual em correia. Inicialmente, a cada novo desmonte recebido são selecionados tijolos com características visuais distintas e levados para análise química e mineralógica. Com os resultados dessa

caracterização inicial, é montado um padrão de seleção e feito um treinamento com os operadores para as características do lote a ser trabalhado. Após a seleção, uma nova análise é feita dos reciclados separados para garantia da qualidade, decidindo pela liberação para próxima etapa ou pelo retrabalho do lote (nova seleção ou blendagem). A figura 3 demonstra duas plantas de seleção, uma no Brasil e outra da Áustria.



Figura 3 – Planta de seleção de reciclados – Brasil (esq.) e Áustria (dir.).

Um dos desafios mais explorados recentemente é como automatizar essa operação, melhorando a qualidade da seleção, possibilitando a separação de materiais sem distinção para a visão do operador, melhorando também produtividade e custos do processo. Além disso, para a seleção manual, apenas partículas acima de 80mm podem ser separadas para o processo ter uma produtividade que justifica os custos, o que reduz consideravelmente o aproveitamento do material.

Separadores automáticos existem comercialmente para a indústria da mineração, tendo sensores para cor, em luz visível e próxima a infravermelho, e também por química, baseado em transmissão de raios-X [6].

Apesar de aplicáveis para alguns casos de reciclados refratários, esses separadores convencionais apresentam limitações que impedem uma aplicação ampla para refratários.

A primeira limitação é impossibilidade de separação de materiais contendo carbono, não possível por cor pela similaridade de todos as classes e nem por química, uma vez que o carbono influência na resposta dos raios-X e prejudica consideravelmente a seletividade do processo.

A segunda limitação é a possibilidade de separação de apenas duas classes de produtos para a maioria dos equipamentos, aumentando consideravelmente a complexidade do circuito, tempo de preparação do equipamento e manuseio de materiais, assim como reduzindo a produtividade.

Por fim, a alimentação dos equipamentos atuais deve ser feita isenta de poeira recobrindo as partículas, de preferência com lavagem superficial, e em uma relação de tamanho da maior para a maior partícula de no máximo 3 para 1 (e.g. 120mm até 40mm). Essas etapas, além de aumentar o investimento em uma planta de tal tipo, pode levar a hidratação de tijolos contendo magnésia e inviabilizar o processo para tijolos dolomíticos. Portanto, os desenvolvimentos atuais estão focando em métodos automáticos que superem as limitações encontradas nos equipamentos atuais, possibilitem uma maior recuperação e aprimorem a seletividade do processo.

## **2.3 ESTABILIZAÇÃO DE MATERIAIS RECICLADOS**

A estabilização de fases indesejadas nos reciclados consiste em sua transformação química e mineralógica ou na sua remoção do material. Exemplos clássicos desse processo é a remoção de sais alcalinos de reciclados de cimenteira, remoção de partículas metálicas em reciclados da indústria de aço e

estabilização de tijolos de magnésia carbono que inicialmente utilizaram antioxidantes em sua composição.

No caso dos sais alcalinos e tijolos com antioxidantes, o desafio é mecanizar o processo para uma maior produtividade, menor tempo de processamento e área demanda para o processo. Os processos atuais consistem em lavagem de pilhas que podem demorar meses para estarem prontas para o uso. Além disso, é necessário um controle do material para evitar a utilização de partículas hidratadas, que normalmente demandam uma etapa de secagem em temperatura que supera 300°C, elevando consideravelmente o custo do processo.

No caso da remoção de partículas metálicas, separadores magnéticos são amplamente utilizados. Entretanto ligas e óxidos metálicos não magnéticos são contaminantes que necessitam desenvolvimento específico quando presentes.

## **2.4 PROCESSAMENTO DE GRÃOS RECICLADOS**

Por fim, os grãos reciclados já tratados devem ser preparados para a utilização em refratários, passando por etapas de britagem e classificação granulométrica.

Nesta etapa é fundamental encontrar um balanço entre ter frações granulométricas disponíveis para otimizar a curva de empacotamento dos produtos e evitar uma complexidade do sistema que eleva investimento e custo do processo.

Quando trabalhado com várias frações de tamanho de partículas, é necessária uma estação de britagem e peneiramento complexa, que leva a investimento e



custo operacional mais altos. Além disso, há de se encontrar um balanço da utilização das frações nas linhas de produto para evitar sobrar material de determinado tamanho (a falta não é problema, pois pode ser coberta por material primário). Por fim, quanto mais frações utilizadas, maior é a quantidade de silos necessários na instalação de produção de refratários, que demanda investimento e área no prédio produtivo.

Assim, encontrar o balanço de quantas frações de reciclados serão produzidas é essencial para maximizar o uso ao mesmo tempo em que são limitados investimento e custo de processo.

### **3. CONCLUSÕES**

A utilização de reciclados é um dos caminhos mais rápidos para a redução da pegada de carbono em refratários. Além disso proporciona a redução de material a ser disposto pelos usuários e menor dependência de materiais importados.

Para uma ampliação de sua utilização é necessário superar algumas barreiras de processo e modelo de negócio.

No desmonte, um modelo em que a empresa responsável pela remoção esteja integrada com o responsável pela reciclagem é fundamental.

Na seleção, encontrar um método automatizado, que gere simplicidade no manuseio, evite etapas adicionais de processamento e tenha boa seletividade, ainda deve ser encontrado.

Já para a estabilização, a mecanização de processos com investimento viável para aumentar a produtividade e reduzir o tempo de resposta, mantendo a qualidade é o desafio a ser explorado.

Por fim, é necessário encontrar um balanço no processamento de grãos reciclados tratados, evitando que sejam geradas frações granulométricas excessivas que inviabilizem o processo pelo investimento ou área demandada. Ao mesmo tempo é necessário evitar queda de performance pelo desbalanço na curva de empacotamento.

#### 4. REFERÊNCIAS

- [1] Strubel, S. *Developing a model to calculate the carbon footprint of refractory products*. 2012, Universidade de Leoben (Tese de Mestrado).
- [2] Fan, Z., Friedmann, S.J. *Low-carbon production of iron and steel: Technology options, economic assessment, and policy*. 2021, Joule, 5:4, pp. 829-862.
- [3] Ribeiro, T., Bonadia, P., Gueguen, E., Maier, F., Drnek, T. *Alternatives to reduce the carbon footprint in refractory raw material production processes*. 2021, RHI Magnesita Bulletin, pp. 16-21.
- [4] Schutte M. *Refractory recycling earning your environmental brownie points*. 2010, Proceedings: Refractories 2010 Conference, The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, pp. 75-86.
- [5] Moraes, M.N., Nogueira, G.G.R., Lopez, M., Silveira, F.T., Bonadia, P. *Refractories recycling - challenges and opportunities in a path towards CO<sub>2</sub> footprint reduction*. 2022, Proceedings: 4th EMECR - International Conference on Energy and Material Efficiency and CO<sub>2</sub> Reduction in the Steel Industry, pp. 1-9.
- [6] 12 Knapp H, Horckmans L, Bouillot F, Fricke-Begemann C, Makowe J, Ducastel A. *Sensor-based identification of spent Refractory Bricks*. 2015, Proceedings: XVI BMP Congress, pp. 279-284.