

RECICLAGEM DE MATERIAIS REFROTÁRIOS EM MASSAS BÁSICAS E SUAS CONTRIBUIÇÕES PARA UM FUTURO SUSTENTÁVEL

Jaqueline Martins de Paulo*, Tomás Mordente, Pedro Almeida, Rodrigo Borges,
Fernanda Teixeira, Janaína Orfano, Matheus Naves,
RHIMAGNESITA ®, Contagem, Minas Gerais, Brazil.

*Jaqueline.paulo@rhimagnesita.com

Reconhecendo a importância de uma economia circular e alinhando a estratégia de reciclagem às metas globais de sustentabilidade, muitos esforços estão sendo feitos para inserir o uso de materiais reciclados nas mais diversas aplicações. Essas iniciativas apresentam um importante papel na redução das emissões de carbono e resíduos, além de preservar os recursos naturais. O impacto direto devido ao uso de refratários reciclados como matérias-primas secundárias, no caso específico de produtos não moldados magnesianos, será discutido neste artigo. A proposta deste estudo é desenvolver uma nova matéria prima originária da mistura de diferentes materiais reciclados. Como estimativa, cada tonelada de reciclados substituindo sinter magnésiano evita aproximadamente uma tonelada e meia de emissão de CO₂. É importante ressaltar que além das vantagens mencionadas em relação à redução da pegada de carbono, foram observados efeitos positivos na manutenção do desempenho dos produtos acabados.

1. Introdução

Materiais refratários são utilizados em revestimentos de equipamentos em diversos processos industriais como na produção de metais, cimento e vidros. Essas operações incluem condições extremas em altas temperaturas, severas solicitações termomecânicas e constantes ataques químicos [1]. Dependendo de cada aplicação, condições de serviço e desempenho do material, os refratários podem durar de alguns minutos a vários anos. Assim, à medida que os refratários encerram seu ciclo de vida, ocorre a geração de resíduos [2].

Esses resíduos que são fundamentalmente compostos por fases como MgO.CaO, SiO₂-Al₂O₃, MgO, MgO-C, e contém, em percentuais elevados, fases cerâmicas que podem ser separadas e reprocessadas. Eles representam, portanto, uma fonte alternativa de insumos, substituindo matérias-primas primárias em inúmeras aplicações.

Muito embora grandes esforços sejam feitos para adição de materiais reciclados em diferentes produtos refratários para aplicações industriais (Tabela 1), ainda existem vários desafios a serem vencidos, especialmente no que se refere à disponibilidade dos reciclados. Exemplos são a variabilidade química de materiais refratários no fim da vida útil e ainda ao desenvolvimento de tecnologias a custos competitivos que viabilizem a reciclagem total ou parcial dos resíduos.

Tabela 1 – Uso de materiais refratários reciclados.

Fonte de Reciclados	Aplicação	Ano	Ref.
Tijolos MgO-C de painéis e fornos.	Injeção em forno elétrico a arco para saturação do MgO da escória.	2006	[3]
Tijolos MgO-C	Espumação da escória	2002	[4]
Refratários MgO-C oriundos de aciarias de aços especiais	Formulação de massas e aplicação em juntas de tijolos para estrutura de panela e sistemas forno panela	2000	[5]
Tijolos MgO-C de forno elétrico a arco	Formulação de massas empregadas como revestimento e massa de reparo	2012	[6]
Agregados de reciclados de Al ₂ O ₃ -SiC-C e Al ₂ O ₃ -ZrO ₂ -SiO ₂	Adição em concreto refratário para a concretagem de <i>Impeller KR</i>	2020	[7]
Tijolos de Mg-Cr	Produção de grãos Mg-Cr eletrofundido	2002	[8]

Todas essas ações desempenharem um papel fundamental na redução de geração de resíduos. Há também de se levar em conta a redução de emissões de carbono e a preservação de recursos naturais.

Indo na mesma direção, a proposta deste trabalho é desenvolver uma composição de reciclados de origens distintas para aprimorar o aproveitamento de resíduos refratários de diferentes indústrias. Além dos benefícios supracitados, há também uma melhoria no controle de qualidade dos produtos pelo uso uma matéria prima homogênea e na produtividade devido a melhor utilização da estrutura fabril.

A nova matéria prima originária da mistura de diferentes materiais reciclados (*blend*) passa por um rigoroso controle de qualidade para atender parâmetros físico-químicos que estejam em conformidade com a especificação de produtos acabados. A substituição parcial de síter magnésiano pelo blend de reciclados foi realizado em massas básicas e foram criteriosamente direcionados para a indústria siderúrgica, sendo um exemplo as massas de projeção para reparo de equipamentos a quente e a frio.

1.1 Principais fontes de refratários para reciclagem

Os refratários para a produção de aço e cimento representam a maior fonte para a reciclagem, pois também são os maiores consumidores de refratários. A produção de materiais não ferrosos, setores energéticos e a indústria química também geram importantes volumes de resíduo refratário dependendo da região. Independente da fonte de materiais, a maioria dos equipamentos com revestimento refratário advém de uma combinação de diferentes famílias de material refratário com diferentes composições químicas e características físicas. A Tabela 2 apresenta exemplos de combinações por mercado/ equipamento.

Tabela 2 – Diferentes materiais refratários aplicados por equipamento [9].

Mercado	Equipamentos	Classes de reciclados
Siderurgia	Panelas	MgO-C, AMC, MgO queimado, Alumina, Dolomítico
	Forno elétrico	MgO-C, Alumina, MgO queimado
	BOF	MgO-C, MgO queimado
	Lingotamento	Isostáticos
	RH	Magnesia-Cromo
	Alto forno	Alumina, SiAl
	Panela de Gusa	A-SiC-C, AMC, Alumina
	Carro torpedo	A-SiC-C, AMC, Alumina
Cimenteira	AOD	Dolomítico
	Forno Rotativo	MgO-Espinélio, Alumina, SiAl
Cal	Forno Vertical	MgO-Espinélio, Alumina, SiAl
Fundição	Fundição de Ferrosos	Dolomítico, Alumina

O processamento dos resíduos tem início na etapa de desmonte do revestimento refratário no consumidor deste material. Acordos de economia circular, geram grande resultado no melhor aproveitamento e destinação do resíduo refratário gerado.

Assim, a captação desses resíduos no mercado pode vir de acordos estabelecidos na venda original do refratário, aquisição direta ou indireta a depender de como o consumidor trata o resíduo. A destinação adequada também permite redução de custos com aterro e evita uso de área para estocagem de material sem rota definida de uso.

Processo de produção do *blend* de reciclados

Materiais de diferentes fontes são captados no mercado e segregados por equipamento e fornecedor/ tipo de processo na planta de reciclagem. O material é então limpo e selecionado de acordo com padrões de seleção, definidos conforme resultados de análises químicas e físicas de materiais visualmente diferentes. Após classificação, o material refratário circular é direcionado para britagem, secagem e classificação em diferentes frações para uso como matéria prima.

O uso de minerais circulares simplesmente classificado de acordo com famílias pré-estabelecidas, vinculadas ao tipo de tijolo refratário que deu origem, é um processo que gera dificuldade de aplicação em função da diferença de resultado químico e físico dos materiais produzidos. Com isso, foi desenvolvido um processo que consiste em misturar diferentes famílias de reciclados em determinada proporção, dando origem a

uma matéria prima mais homogênea e de fornecimento frequente, que é cominuída e classificada conforme a aplicação em novos produtos. A Figura 1 apresenta o diagrama desde a captação até a produção do *blend* como nova matéria prima.

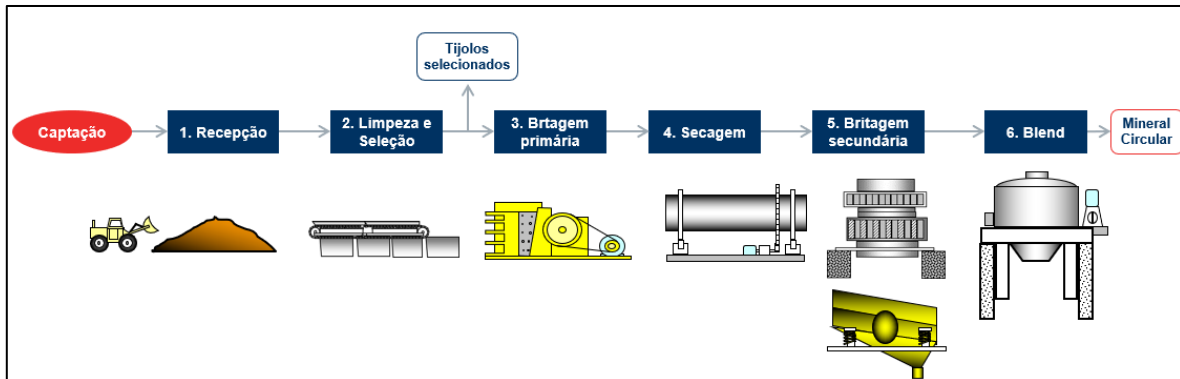


Figura 1 - Diagrama processamento do *blend* de reciclados.

O processo de mistura (*blend*) de reciclados é realizado em uma planta dedicada, onde são realizadas as etapas de processamento, como remoção de impurezas e britagem seletiva combinada com classificação (Figura 2). O processamento final visa homogeneizar as diferentes fontes e só então porcentagens preestabelecidas são direcionadas para a aplicação em massas básicas.



Figura 2 - Processo de classificação (1), britagem (2) e mistura (3).

Para avaliação da distribuição granulométrica cada uma das fontes de reciclados são secos e classificados em faixas granulométricas definidas. Após classificação granulométrica é realizado o controle de qualidade por meio de análises por fluorescência de raios X, Difração de Raios X e perda ao fogo antes de serem liberadas para uso em escala industrial.

Para cada linha de produtos, um estudo detalhado foi realizado, a fim de estabelecer o teor adequado do *blend* de reciclados de modo a não causar interferências de performance nos produtos.

Resultados de aplicação de massas básicas substituindo parcialmente sínter de MgO pelo blend de reciclados, indicaram que as características, propriedades físicas e performance foram semelhantes quando comparadas com os mesmos produtos isentos de reciclados. A combinação dos resultados laboratoriais e industriais forneceram indicativos de que a incorporação do blend de reciclados, cujas características são compatíveis com o produto refratário empregado como base, é uma alternativa atrativa para desenvolver refratários com balanço entre custo, performance e emissão de CO₂.

A Tabela 3 apresenta a evolução da utilização de materiais reciclados para RHI Magnesita na América do Sul e o valor aproximado de redução de emissões de CO₂ neste período.

Tabela 3 – Evolução do uso de reciclados e potencial redução de CO₂ pela RHI Magnesita na América do Sul.

	2019	2020	2021	2022*
Utilização de reciclados (ton)	6.700	6.800	8.400	9.700
Redução de CO ₂ estimada (ton)	10.674	10.888	13.497	15.550

* Valor estimado

A utilização do *blend* vem ajudando a RHI Magnesita aprimorar consistentemente o portfólio de produtos sustentáveis, fechando o ciclo de vida do produto e agregando valor na cadeia dos refratários. Além disso, a reciclagem contribui para redução de CO₂ e conservação de recursos minerais.

3.0 Conclusões

O processamento de mistura de refratários utilizados em diferentes aplicações torna a matéria prima reciclada homogênea garantindo a estabilidade do produto e contribui para reduzir a emissão da pegada de carbono. Além disso, outros benefícios de se utilizar o blend de reciclados é a possibilidade de se otimizar a utilização de reciclados, considerando a disponibilidade de refratários usados no mercado. Adicionalmente, há

potencial de sua utilização em novos produtos e a otimização da produtividade devido a melhor utilização da estrutura fabril.

Também é importante ressaltar que além das vantagens mencionadas em relação à redução da pegada de carbono, resultados obtidos em teste de campo mostraram que o uso do blend de reciclados básicos em concentrações controladas tem efeito positivo na manutenção da performance do produto acabado. Entretanto, isso só é possível devido capacidade de pesquisa e desenvolvimento de produtos, entendendo as diferentes propriedades trazidas pelos reciclados e adaptando as formulações para tirar vantagem dessas novas características.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Sako, E. Y., Pandolfelli, V. C. *A relação entre a corrosão e a microestrutura: a chave para o desenvolvimento de concretos refratários espinelizados de alto desempenho*. 2014, Cerâmica 60.
- [2] Mourão, M. B. et. al. *Introdução à siderurgia*. Livro técnico da ABM. São Paulo, 2007.
- [3] Conejo, A.N., Lule, R.G., Lopéz, F., Rodriguez, R. *Recycling MgO-C refractory in electric arc furnaces*. 2006, Resources, Conservation and Recycling, 49, pp.14–31.
- [4] Kwong J., Bennett J. P. *Modeling the reuse of spent basic refractory material in an EAF*. 2000., Recycling of metals and engineered materials, pp. 1369-1383.
- [5] Takahashi, H., Tsuno, M., Hayaishi, M. *Used-refractories recycle technology in melting shop*. 2000, Refractories (Tokyo), Vol. 52, no. 4, pp. 178-184.
- [6] Silva, R. D. S., Bragança, S. R. *Avaliação de reutilização de resíduos de tijolos refratários MgO-C em massas refratárias secas*. 2012, 56º Congresso Brasileiro de Cerâmica, Curitiba, Brasil, pp. 67-74.
- [7] Leal, J. F. C. *Avaliação dos efeitos da adição de agregados reciclados de Al₂O₃-SiC-C e Al₂O₃-ZrO₂-C em concretos refratários*. 2020, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Ceará.
- [8] Cho, Y. H., Jun, M. C., Kim, S. *Method for manufacturing electro-fused magnesium chrome clinkers by recycling waste magnesium chrome bricks*. 2002, Patent KR20020051006.
- [9] Moraes, M. N., Nogueira, G. G. R., Lopez, M., Silveira, F. T., Bonadia, P. *Refractories recycling - challenges and opportunities in a path towards CO₂ footprint reduction*. 2022, Proceedings: 4th EMECR - International Conference on Energy and Material Efficiency and CO₂ Reduction in the Steel Industry, pp. 1-9.