

ESTUDO COMPARATIVO DE DESGASTE DE TIJOLOS DOLOMÍTICOS PARA LINHA DE ESCÓRIA EM PANEIS DE AÇO DE SIDERURGIA

E. O. Alves (1); M. S. Soares (1); C. R. de Oliveira (1); A. A. Rabelo (1)
Universidade Federal do Pará – Campus Universitário de Marabá
Faculdade de Engenharia de Materiais
Folha 17, Quadra 04, Lote Especial, CEP 68505-080 – Marabá/PA
elizeth_oliveira@yahoo.com.br

RESUMO

O desgaste do revestimento refratário é um processo gradual e inerente à fabricação do aço, portanto, a busca por medidas que visem diminuir esses desgastes são imprescindíveis, sejam elas relacionadas ao estudo das variáveis das práticas operacionais e/ou as propriedades do revestimento refratário. A linha de escória é a região que se encontra sob o maior número de solicitações e apresenta menor vida na panela de aço. Este trabalho apresenta uma quantificação comparativa de desempenho entre tijolos dolomíticos, um quimicamente ligado e pichado e outro quimicamente ligado com 7-8% de carbono, os quais foram avaliados quanto às propriedades mecânicas e termomecânicas. O conhecimento das solicitações de serviço e suas influências no desgaste do material possibilitam selecionar refratários com propriedades adequadas para a região estudada, com a finalidade de proporcionar aumento do tempo de trabalho do equipamento. A aplicação de um produto com melhores propriedades aliada as boas práticas operacionais podem contribuir para a redução do desgaste do revestimento refratário. Os ensaios realizados indicaram a superioridade termomecânica do refratário dolomítico quimicamente ligado com 7- 8% de carbono.

Palavras-chave: linha de escória, resistência mecânica, desgaste, doloma.

INTRODUÇÃO

Os materiais refratários estão presentes em diversos processos industriais, com destaque para o setor siderúrgico que absorve cerca de 70% da produção de

refratários mundiais em termos de volume. Outras indústrias consumidoras de destaque são as de cimento (8% de consumo) e os setores de fabricação de metais não ferrosos e vidros com 7 e 3% de consumo, respectivamente. Outros 14 a 20% são consumidos pelas indústrias de celulose, não-ferrosos, cerâmica e petroquímica. Os materiais refratários se apresentam, portanto, como um segmento industrial estratégico devido ao fator de alavancagem econômica, pois todos os processos industriais que utilizam alta temperatura dependem diretamente dos refratários ^(1,2).

A redução do consumo específico de refratários é uma tendência da siderurgia em nível mundial de usar revestimentos térmicos de melhor qualidade, mais resistentes e de menor volume. Nos anos 70 as aciarias consumiam cerca de 30 kg de refratários por tonelada de aço produzido. Atualmente são necessários 11 kg para produzir a mesma quantidade de aço, produtividade próxima aos 7 kg/t aço do Japão. No Brasil o consumo aparente anual de refratários saiu de um patamar de 410 mil toneladas em 1998 para alcançar nível próximo a 492 mil t. em 2008, representando um crescimento médio anual de 1,8% ⁽³⁾. A demanda global por refratários deverá crescer 5,3%/ano até 2014 para 40,7 milhões de toneladas ⁽⁴⁾. Em países desenvolvidos como o Japão, o setor siderúrgico é responsável por 77% do consumo de refratário produzido, enquanto a fabricação de refratários produzidos alcança aproximadamente a ordem de 1 Mt no ano de 2009 ⁽⁵⁾.

O desenvolvimento tecnológico dos materiais refratários foi impulsionado pela evolução dos setores industriais que necessitam do revestimento para a realização dos seus processos. Os materiais refratários representam parte significativa dos custos financeiros no processo de fabricação do aço, então, o aumento da vida do refratário e a redução do seu consumo específico dentro do ciclo produtivo apresenta-se como um fator estratégico para se alcançar tal redução.

A degradação de refratários é em geral um processo que ocorre gradualmente, tendo como principal fator à corrosão química devido ao ataque da escória. A termoclase estrutural, principalmente devido ao superaquecimento e a corrosão por metais fundidos e ainda devido às reações de escórias que penetram no refratário, são decisivos na degradação do material. Em alguns casos, a corrosão é fortemente acelerada devido a danos em consequência das oscilações térmicas ⁽⁶⁾, portanto, os fatores operacionais também apresentam grande influência no desgaste do revestimento. Segundo Bragança ⁽⁶⁾, a corrosão dos refratários situados na região que fica em contato com a escória resulta de 3 mecanismos primários. O primeiro é

a dissolução ou difusão do material refratário, no caso a magnésia, para a escória líquida. Outro mecanismo é a penetração da escória no refratário e que causa efeitos mecânicos e químicos. O terceiro mecanismo é a erosão, que está associada à movimentação de gases e escória. Em geral, diz-se que a corrosão química inicia a degradação e as tensões térmicas e mecânicas levam à degradação final do tijolo⁽⁷⁾. Mediante tal cenário, a seleção do material refratário adequado a fim de maximizar o seu desempenho operacional não se apresenta como uma tarefa fácil.

Os refratário de doloma são uma mistura mecânica dos óxidos de CaO e MgO obtida a partir da calcinação do duplo carbonato $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, apresentam alta refratariedade, boa resistência ao choque térmico e estabilidade volumétrica, alta estabilidade frente a atmosferas redutoras e escórias de altíssima basicidade e oferecem bom equilíbrio entre baixo custo e boa refratariedade, apresentando boas característica metalúrgicas para aplicação em aciarias, demonstrando-se como uma excelente alternativa para uso no revestimento de painéis de aço. Entretanto, possuem tendência a hidratação (CaO livre), que pode ser reduzida pelo piche (sinter ligados a piche), assim como menor resistência à corrosão por escórias ferruginosas do que os magnesianos. São muito utilizados em soleiras, fornos de cimento e em massas de reparo.

Os refratários dolomíticos usados neste trabalho são utilizados em painéis de aço, os quais podem ser descritos como tijolos à base de dolomita sinterizada. Foram realizados ensaios comparando-se dois refratários dolomíticos quimicamente ligados: impregnado e com 7-8% de carbono, a fim de identificar os parâmetros que se mostraram relevantes ao desgaste dos revestimentos de trabalho de painéis de aço.

MATERIAIS E MÉTODOS

O refratário dolomítico denominado A é caracterizado como quimicamente ligado e pichado e o dolomítico B, como quimicamente ligado com 7- 8% de carbono.

Os ensaios tecnológicos foram realizados segundo as respectivas normas: porosidade e densidade aparente, norma ABNT NBR 6220:1996; resistência à compressão à temperatura ambiente, JIS R-2206:2007; resistência à erosão à

temperatura ambiente, ANBT NBR 13185:1999; resistência ao ataque por escória pelo método estático, ABNT NBR 9641:1995.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

i. Resistência à Compressão à Temperatura Ambiente

A Resistência à Compressão a Temperatura Ambiente é uma propriedade que garante aos materiais refratários características essenciais para o manuseio e transportes logísticos em longas distâncias, e principalmente na etapa de montagem do revestimento na panela de aço, pois os mesmos são empilhados, e os tijolos localizados nas últimas fiadas, próximas ao fundo necessitam ter boa resistência. O Refratário Dolomítico A apresentou valor de RCTA de 36,59 MPa, inferior ao valor do Refratário Dolomítico B que foi de 42,50 MPa. A diferença entre os resultados de RCTA deve-se provavelmente a presença de ligante na composição do Dolomítico B.

ii. Densidade Aparente e Porosidade Aparente

Os parâmetros de Densidade e Porosidade Aparente são diretamente relacionados ao desgaste do refratário por corrosão por escória, pois a corrosão de óxidos, muitas vezes pode não ocorrer por dissolução ou evaporação dos óxidos, mas, por penetração do sólido por alguns ou todos os elementos a partir da escória do fluido. A fase líquida pode ser puxada para dentro da porosidade aberta do sólido por forças capilares, e espécies do fluido irão difundir-se tanto nas fronteiras de grão e para a maior parte do sólido ⁽⁸⁾.

Tabela 1: Resultados de porosidade e densidade aparente para os tijolos dolomíticos estudados.

	Porosidade Aparente (%)	Densidade Aparente (g/cm ³)
Refrat. Dolomítico A	3,6	2,96
Refrat. Dolomítico B	3,4	2,91

Uma menor porosidade então indica uma menor capacidade de penetração por escórias no refratário B, isso ocorre possivelmente devido ao maior empacotamento. Os refratários A e B não apresentaram diferença significativa nos parâmetros obtidos.

iii. Resistência à Erosão à Temperatura Ambiente

Os fenômenos mecânicos também exercem forte influência no processo de desgaste do material refratário. A erosão é o processo de abrasão do material refratário exposto à movimentação do gás e velocidade elevada da escória ⁽⁹⁾, portanto, o uso de materiais de desempenho superior apresenta-se de fundamental importância para redução dos custos de manutenção e o risco de paradas não planejadas, logo, o material refratário aplicado na linha de escória necessita apresentar boas propriedades para resistir às solicitações.

Os materiais que apresentam maior resistência à erosão são normalmente aqueles cujos grãos ou agregados grandes, arredondados e a matriz quimicamente ligada. Normalmente quanto maior a resistência mecânica de um tijolo, maior a sua resistência à erosão ⁽¹⁰⁾. A figura 1 apresenta a condição da placa refratária após ensaio, em destaque a região erodida. Os valores de erosão foram mensurados em volume erodido do material (cm³). Os valores de erosão para os Refratários Dolomíticos A e B foram 9,18 e 6,51 cm³, respectivamente. Logo, o refratário B teve menos massa removida de sua matriz, devido à diferença entre os ligantes utilizados para promover coesão entre as estruturas.

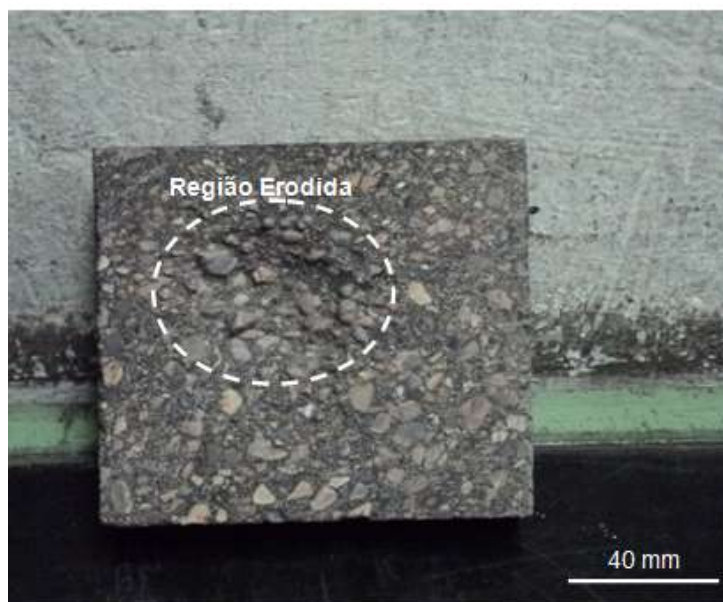


Figura 1: Destaque da região erodida do corpo refratário após ensaio.

iv. Resistência à Flexão a Quente

Refratários são utilizados a temperaturas elevadas; portanto, há um interesse lógico na mudança de sua resistência com o aumento da temperatura.

Frequentemente, é verificado entre 600 °C e 1400 °C, dependendo do tipo de refratário, porcentagem de silicatos e da análise química de tais silicatos. A temperaturas mais elevadas, superiores à resistência máxima, a resistência do refratário rapidamente diminui, exibindo distintamente curvas de tensão-deslocamento não-lineares. Normalmente, o valor máximo de resistência não é muito elevado. Além disso, a elevadas temperaturas, a dependência da taxa de carregamento à resistência se torna complexa. Esta não é uma interdependência simples, e varia consideravelmente para diferentes sistemas refratários ⁽¹¹⁾.

A resistência à flexão a quente foi realizada a temperatura de 1400 °C com duração de 30 minutos, após atingida a temperatura de ensaio, para o encharque do tijolo. O Refratário Dolomítico B apresentou valor de RFQ de 0,89 MPa, superior ao do Refratário Dolomítico A, de 0,57 MPa. A resistência à flexão a quente invariavelmente exibe um limite de escoamento que está associado ao enfraquecimento da coesão dos silicatos nessa faixa de temperatura ocorre a formação de fase líquida, reduzindo conseqüentemente a refratariedade.

v. Resistência ao ataque por escória pelo método estático

A velocidade das reações de corrosão dependerá das propriedades e concentrações dos reagentes (refratário e escória) e da temperatura, sendo também influenciada pela concentração de outras substâncias (impurezas) e pelas áreas das superfícies em contato. A taxa de reação vai depender da difusão dos reagentes, da velocidade da reação química e da velocidade de saída dos produtos da zona de reação ⁽⁶⁾.

Tabela 1: Composição da escória utilizada no ensaio de resistência ao ataque por escória.

Elementos	Porcentagem (%)
CaO	52,59
SiO ₂	26,56
MgO	13,34
Al ₂ O ₃	4,58
P ₂ O ₅	0,02
Fe ₂ O ₃	1,06
Cr ₂ O ₃	0,01
K ₂ O	0,01
MnO	0,27
Na ₂ O	0,12

Ti ₂ O	0,25
SO ₃	1,19
Fechamento	100,00
Basicidade (CaO/ SiO ₂)	1,98

A escória utilizada para a realização do ensaio foi uma escória básica, típica do processo de refino secundário em Forno Panela, saturada em MgO, para que o afim de minimizar a retirada do MgO do tijolo. A figura 2 apresenta o desgaste sofrido pela região em contato com a escória.



Figura 2: Região desgastada do corpo de prova em contato com a escória durante ensaio.

A composição de carbono presente no tijolo é uma das variáveis mais importantes no que se refere a garantir a baixa molhabilidade do tijolo pela escória, pois o carbono possui elevada tensão superficial e assim, sua adição ao tijolo regula a tensão superficial entre a escória e a face do tijolo, além de selar os poros do material, impedindo que o tijolo seja infiltrado por escória líquida ou aço líquido ⁽¹²⁾.

Outro fator explicativo para o melhor desempenho do tijolo B a resistência à corrosão, o que pode ser observado na figura 3, pode ser associado às distintas fontes fornecedoras de carbono, bem como a pureza destas, utilizadas na confecção dos tijolos.

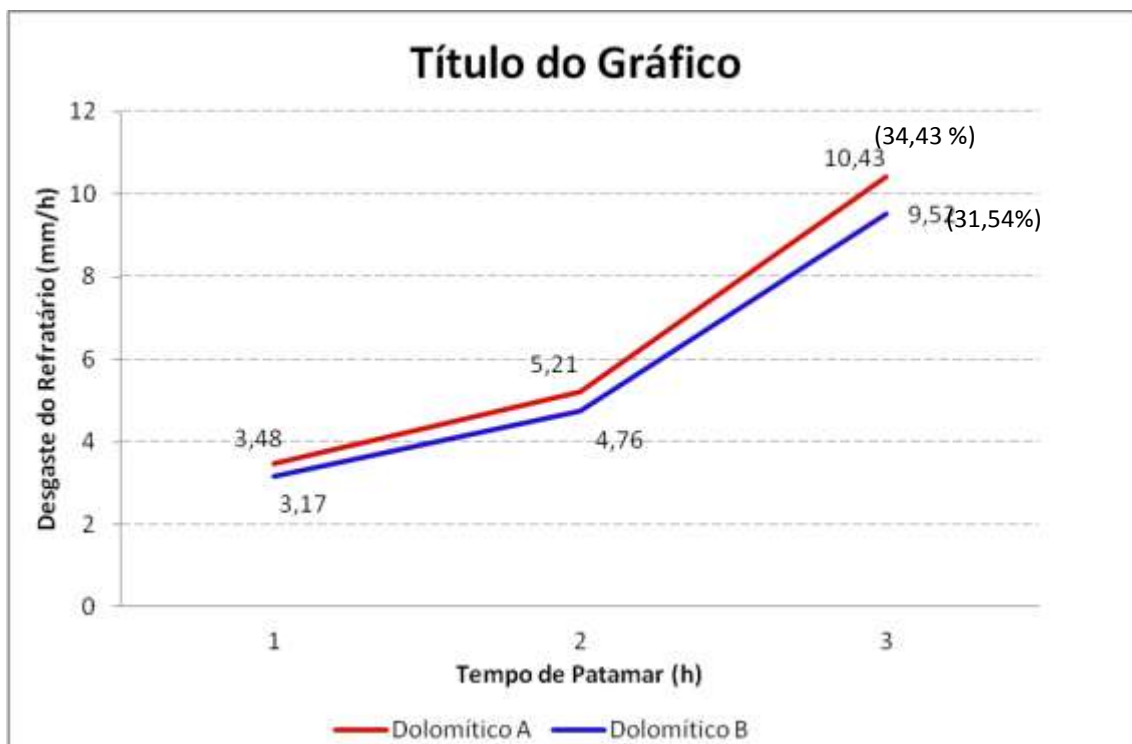


Figura 3: Resultado comparativo do desgaste sofrido pelos refratários em contato com a escória.

CONCLUSÕES

O estudo dos parâmetros de desgaste dos materiais refratários possibilita compreender os fatores responsáveis e influentes por sua ocorrência e principalmente, obter ganhos em desempenho, diminuir o número de paradas para manutenção, e consequentemente ganhos econômicos.

A avaliação comparativa entre os materiais dolomíticos quimicamente ligados: impregnado e com 7-8% de carbono permitiu verificar que o segundo tipo apresentou desempenho superior ao primeiro para todos os parâmetros estudados indicando possuir maior vida útil quando empregado na linha de escória de panelas de aço.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

- [1] CANNIO, M.; HANUSKOVÁ. Os materiais refratários. *Cerâmica Informação*, n 63, p.24 -29, 2009.
- [2] MILLER, J. *Today's refractory market and the refractory market of the future*. ALAFAR - Asociacion Latinoamericana de Fabricantes de Refractarios, p.15-37, 2000.
- [3] LOBATO, E. *Relatório técnico 71-Refratários*. Ministério de Minas e Energia, 2009.
- [4] *Demand for Refractories till 2014*. Disponível em: <http://www.refractories-worldforum.com/global-news/238-demand-for-refractories-till-2014.html>. Acesso em: 15 de dezembro de 2012.
- [5] KAYAMA, T.; YOSHITOMI, J. Recent Trends of Refractories for Steelmaking in Japan. *Refractories Wolrdforum*, n. 4, p.40-44, 2012.
- [6] BRAGANÇA, R. S. Corrosão de refratários utilizados na siderurgia. Parte I: Propriedades microestruturais. *Cerâmica*, nº 58, p. 280-285, 2012.
- [7] MATTILA, R.A.; VATANEN, J.P, HARKKI, J.J. *Scandinavian J. Metallurgy*, v.31, p.241-245, 2002.
- [8] JANSSON, S. A study on the influence of steel, slag or gas on refractory reaction. In: Cooper A. R.: Kinetics of refractory corrosion. *Ceramic Engineering and Science Proceedings*, n.2, p.1063-1086, 1982.
- [9] JANSSON, S., BRABIE, V., and BOHLIN, L. Corrosion mechanism and kenetic behaviour of refractory materials in contact with CaO-Al₂O₃-MgO-SiO₂. *VII International Conference on Molten Slags Fluxes and Salts*. The South African Institute of Mining and Metallurgy, 2004.
- [10] MARQUES, L. R. *Avaliação técnica e microestrutural entre tijolos dolomíticos de alto desempenho para a indústria siderúrgica*. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/60669>. Acesso em: 15 de dezembro de 2012.
- [11] CUNHA-DUNCAN, F. N.; BRADT, R. C. Fratura de Refratários. *Cerâmica*, n.49, p.199-215, 2003.
- [12] SEGADAES, A. M. *Refratários*. 1ª ed, Portugal: Aveiro, 1997.