

CONTROLE DE PONTO QUENTE EM CONJUNTO DE SOPRO*

*Alexandre Patricio Vieira da Silveira¹
Sandro Valério Maia Larrubia²
Dalton Martins Neto³*

Resumo

A TERNIUM Brasil, Rio de Janeiro, tem em sua operação dois Altos-Fornos idênticos. Ambos iniciaram operação em 2010, Alto-Forno 01 em 13/07/2010 e Alto-Forno 02 em 06/12/2010. Em Dezembro de 2016 e Janeiro de 2017 ocorreu alguns eventos de rompimento de conjunto de sopro por temperatura alta ocasionando paradas emergências nos Altos-Fornos, perdas de produção e instabilidade operacional. Diante deste problema, a antecipação de possíveis falhas no conjunto de sopro por temperatura alta foi fundamental para garantir operação estável dos altos-fornos. Analisar o processo, verificar procedimentos, pesquisar e aplicar novos materiais para adequar as condições operacionais é essencial para evitar o rompimento de conjunto de sopro por temperatura alta e elevar vida útil dos mesmos.

Palavras-chave: Analisar; Procedimentos; Novos Materiais.

HOTSPOT MONITORING ON TUYERE STOCK

Abstract

The TERNIUM Brasil, Rio de Janeiro, has two Blast Furnaces. Both started the operation in 2010, Blast Furnace#01 in 13/07/2010 and Blast Furnace#02 in 06/12/2010. In December 2016 and January 2017, there was a high temperature blow-off, causing emergency stops in the Furnaces. In view of this problem anticipating possible failures in the high temperature blow assembly is fundamental to ensure stable blast furnace operation. Analyzing the process, checking procedures, researching and applying new materials to suit operational conditions is essential to avoid high temperature blow-up and high life.

Keywords: Analyze, Procedure, New Materials

¹ *Engenheiro de Operação, Coordenação de Preservação dos Altos-Fornos, Gerência de Alto-Forno, TERNIUM Brasil, Rio de Janeiro, Brasil.*

² *Engenheiro de Operação, Coordenação de Preservação dos Altos-Fornos, Gerência de Alto-Forno, TERNIUM Brasil, Rio de Janeiro, Brasil.*

³ *Coordenador da Preservação dos Altos-Fornos, Coordenação de Preservação dos Altos-Fornos, Gerência de Alto-Forno, TERNIUM Brasil, Rio de Janeiro, Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

Em Dezembro de 2016 e Janeiro de 2017 houve rompimento de conjuntos de sopro nos Altos-Fornos da TERNIUM Brasil por temperatura alta causando paradas emergências, instabilidade operacional e perda de produção. Como ação imediata a primeira medida foi intensificar a inspeção operacional e termográfica nos conjuntos de sopro até conclusão da causa principal. Essa ação foi fundamental para antecipar possíveis rompimentos. Em paralelo estava sendo desenvolvido um trabalho para identificar as possíveis causas e estabelecer controles para essa anomalia.

Após reuniões para entendimento do problema foi levantando algumas causas que poderiam estar contribuindo para este fenômeno e que serviram de base para nortear os trabalhos.

Segue um resumo das principais causas levantadas.

- Retorno de escória nos algaravizes.
- Método de refratamento e montagem do conjunto de sopro.
- Curva de aquecimento do conjunto de sopro.
- Variações no sistema de injeção de carvão.

Neste trabalho será apresentado a análise do refratário colapsado, os mecanismos de desgaste e a conclusão do trabalho.

Segue os parâmetros operacionais dos Altos-Fornos TERNIUM Brasil. Tabela 1.

| Itens | Unidade | AF's |
|--|----------------|---------------|
| Volume interno | m ³ | 3284 |
| Volume de trabalho | m ³ | 2775 |
| Diâmetro do cadinho | m | 12,0 |
| Capacidade de produção | t/dia | 7500 |
| Número de ventaneiras | - | 32 |
| Número de furo de gusa | - | 2 |
| Topo | - | Topo sem cone |
| Sistema de granulação | - | INBA |
| Temperatura máxima de sopro | °C | 1250 |
| Sistema de refrigeração cuba, ventre e rampa | - | Stave-coolers |
| Sistema de refrigeração do cadinho | - | Jaqueta |
| Início da campanha atual Alto Forno 01 | - | 12/07/2010 |
| Início da campanha atual Alto Forno 02 | - | 06/12/2010 |

Figura 1 – Características operacionais dos Altos-Fornos

2 DESENVOLVIMENTO

Devida incidência de pontos quentes nos conjuntos de sopro dos Altos-Fornos a primeira ação tomada para evitar rompimento foi intensificar a termografia por parte da operação. Foi adquirido uma câmera termográfica, criado um padrão operacional e treinado os operadores para realizar as inspeções durante os turnos. Implantando essa ação foi possível prevenir arrombamentos de conjunto de sopro. A figura 02 mostra os operadores realizando a termografia.



Figura 2 – Termografia realizada pelos operadores

Foram realizados ensaios de caracterizações físico-químicas em três algaravizes da TERNIUM Brasil que “queimaram” em operação sendo dois do alto forno 02 e um do alto-forno 01.

Os ensaios de caracterização foram: (a) análise química, (b) análise de porosidade e massa específica aparente, (c) análise de fases cristalográficas, (d) análise microestrutura (e) determinação do gradiente de temperatura máximo de choque térmico. Todos os algaravizes analisados apresentavam trincas longitudinais no revestimento refratário. Observamos trincas também nos equipamentos novos. Para entendermos melhor o que aconteceu segue o plano de amostragem.

2.1- PLANO DE AMOSTRAGEM PARA O ESTUDO POST MORTEM.

O plano de amostragem consistiu em retirar parte da carcaça metálica com uma esmerilhadeira, a fim de ter acesso ao revestimento refratário, conforme imagens mostradas na Figura 3.



Figura 3- Corte da Carcaça Metálica

Após o corte da carcaça metálica o material refratário ficou exposto para análise como mostra na Figura 4



Figura 4 - Refratário exposto para análise

Após a remoção parcial da carcaça metálica, foi estabelecido o plano de amostragem, retirando amostras em três diferentes regiões: ponta (P) do algarviz, meio (M) e fundo (F), nas duas faces: superior (S) e inferior (I) do algarviz, separando cada amostra em: (a) na face de interna (face quente), (b) meio e (c) face externa (próxima a carcaça), a Figura 5 ilustra esquematicamente cada uma das regiões amostradas.

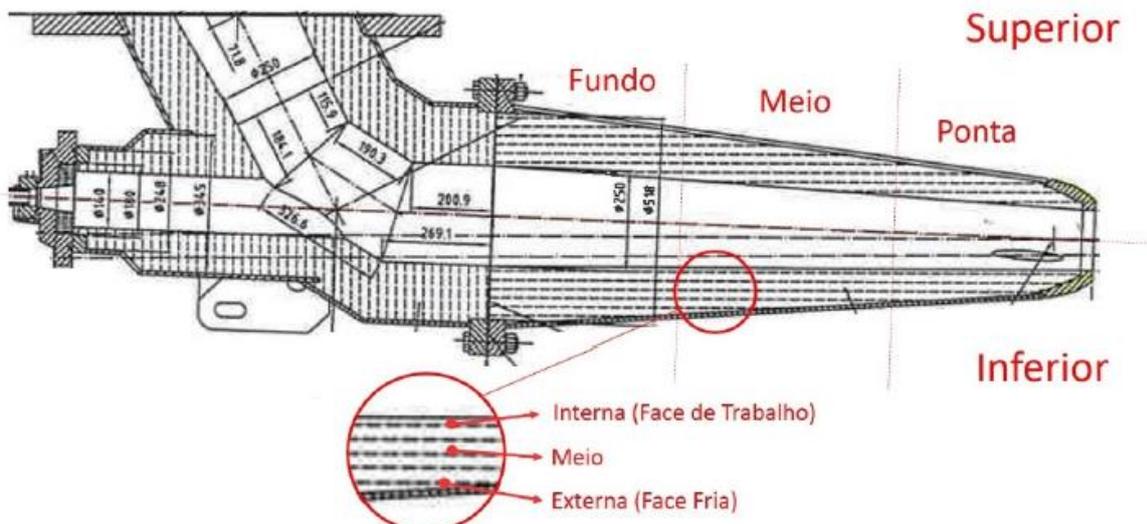


Figura – 5 Ilustração do Plano de Amostragem

Analisando visualmente as amostras verificou-se a presença de escória na superfície interna do revestimento refratário conforme mostrado na Figura 06 e grande quantidade de finos de carvão na interface refratário/carcaça do algarviz, conforme figura 07.



Figura – 6 Presença de escória no revestimento refratário



Figura – 7 Presença de Carvão entre carcaça e refratário

2.2 – CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA.

2.2-1- Análise química por fluorescência de raios X – FRX.

Conforme as análises químicas realizadas não foi observado a presença de nenhum contaminante em todas as amostras analisadas. Verificou-se que em todas as amostras os teores de Al_2O_3 e de CaO estiveram acima dos valores das especificações e os teores de sílica ficaram sempre inferiores aos informados pelo fabricante. Os maiores valores de Al_2O_3 podem estar associados aos teores de CaO , pois o óxido de cálcio está presente no refratário principalmente na forma de aluminatos de cálcio em diversas estequiometrias, ou seja, aumentando o teor de cálcio conseqüentemente o teor de Al_2O_3 é aumentado.

2.2-2- Porosidade Aparente e Massa Específica Aparente.

Os valores de porosidade aparente e massa específica aparente (ASTM C20) foram bastante semelhantes em todas as amostras analisadas ficando dentro da margem informada pelo fabricante na FDT entre 2,20 e 2,35 g.cm³, a Tabela 1 mostra os resultados obtidos.

| Algaraviz | Porosidade Aparente [%] | | Massa Específica Aparente [g.cm ³] | |
|-----------|-------------------------|--------|--|--------|
| | Média | Desvio | Média | Desvio |
| #160 AF#1 | 21,71 | 1,16 | 2,23 | 0,02 |
| #43 AF#2 | 21,20 | 0,80 | 2,21 | 0,02 |
| #186 AF#2 | 19,87 | 0,58 | 2,22 | 0,05 |

Tabela 1 – Massa específica aparente e porosidade aparente

2.2-3- Análise de fases mineralógicas por difratometria de raios X

Os espectros de difratometria apresentaram comportamento muito semelhante. Devido a isso foi realizada uma análise de cluster com intenção de determinar a similaridade e praticamente todos os espectros se enquadram em um cluster, evidenciando que as fases presentes em todas as amostras analisadas são semelhantes. As fases indexadas foram Corundum, Mulita, Cristobalita e silico-aluminato de cálcio. A Figura 8 mostra um espectro de difratometria de raios X típico das amostras analisadas. As fases a base de silico-aluminatos de cálcio provavelmente formaram em função da reação do aluminato de cálcio do cimento e da sílica presente na matriz do concreto.

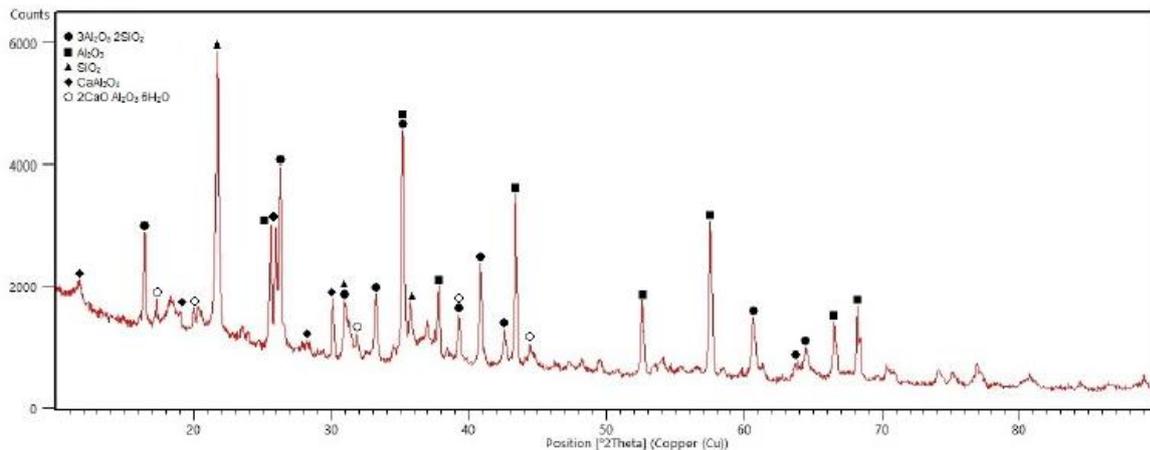


Figura 8 - Espectro de difratometria de raios X típico das amostras do revestimento refratário analisadas.

2.2-4 Análise microestrutural.

As micrografias das amostras analisadas confirmaram as análises de difratometria de raios X mostrando microestruturas muito parecidas, sem mudanças significativas entre elas. A Figura 9 mostra a micrografia da amostra nova, análises de Energia Dispersiva de raios X confirmaram a presença de agregados de mulita como fase dispersa e aluminato de cálcio na matriz do refratário. A imagem da Figura 10 mostra a micrografia do interior revestimento refratário do Algaraviz que apresentou rompimento, confirmando a presença de fase de sílico-aluminato de cálcio na matriz do refratário. A imagem da Figura 11 mostra a micrografia da face de trabalho do revestimento refratário do algaraviz evidenciando a camada atacada por escória.

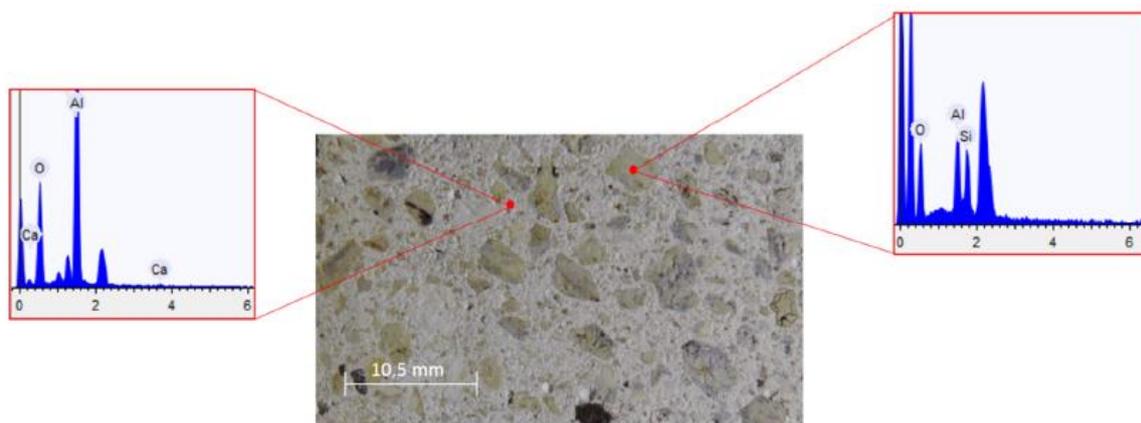


Figura 9 – Micrografia do concreto refratário novo

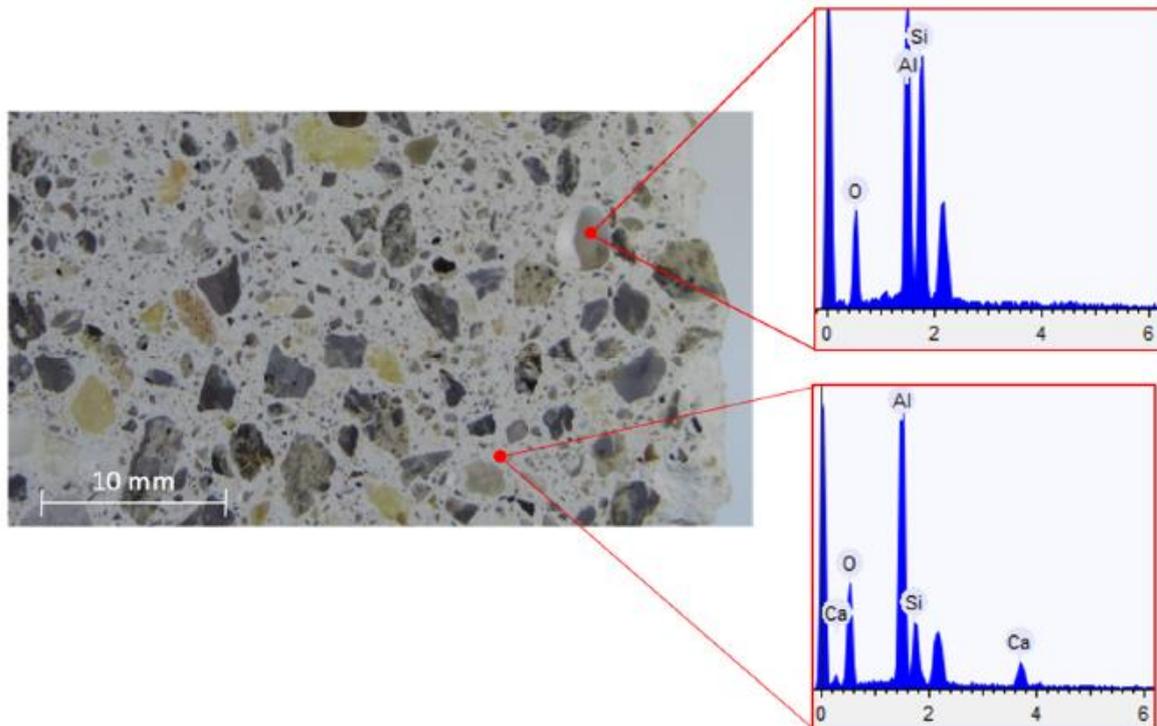


Figura 10 – Micrografia do interior do refratário que apresentou falha

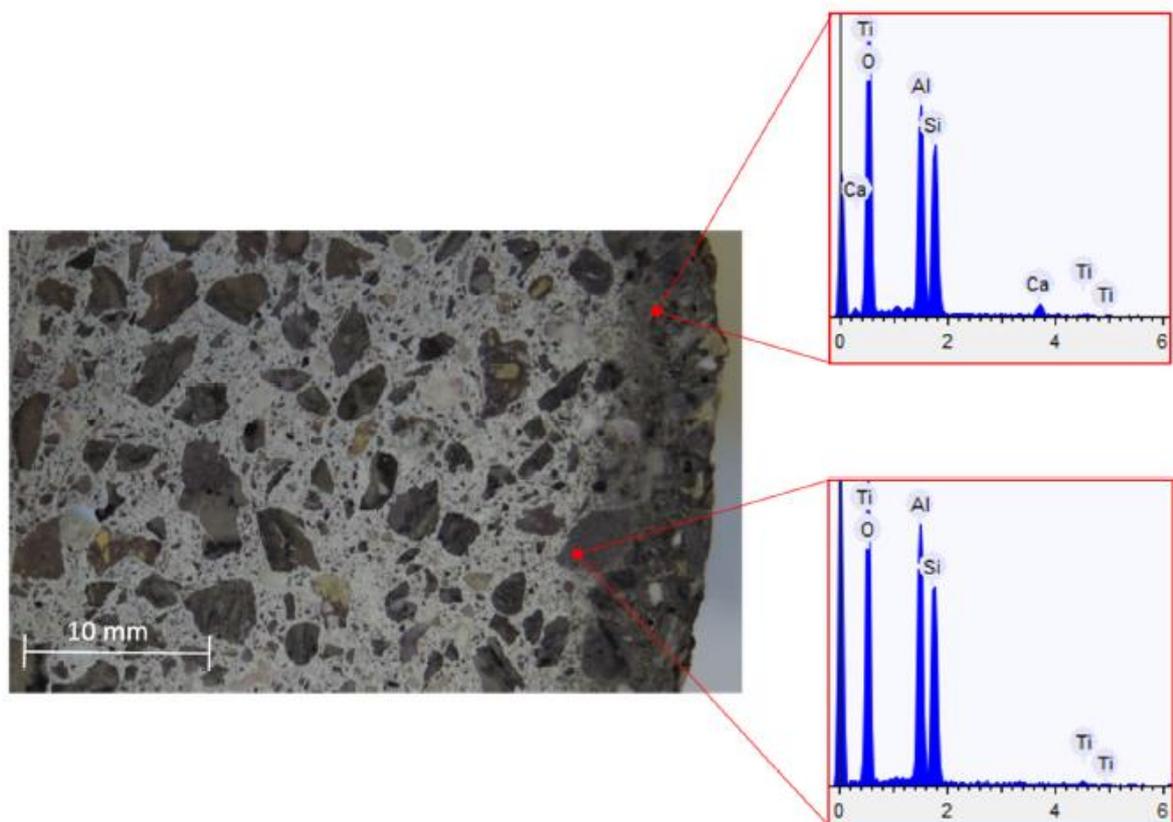


Figura 11 – Micrografia da face de trabalho do refratário do algarviz

3.0 – MECANISMOS DE DESGASTE

3.1 – Ataque por escória.

Em dois algaravizes enviados para análise o motivo da interrupção da campanha foi ataque por escória evidenciado pela análise visual e pelas análises laboratoriais. A Figura 12 mostra que o ataque de escória atingiu a carcaça infiltrando pela parte interna do revestimento do algaraviz.

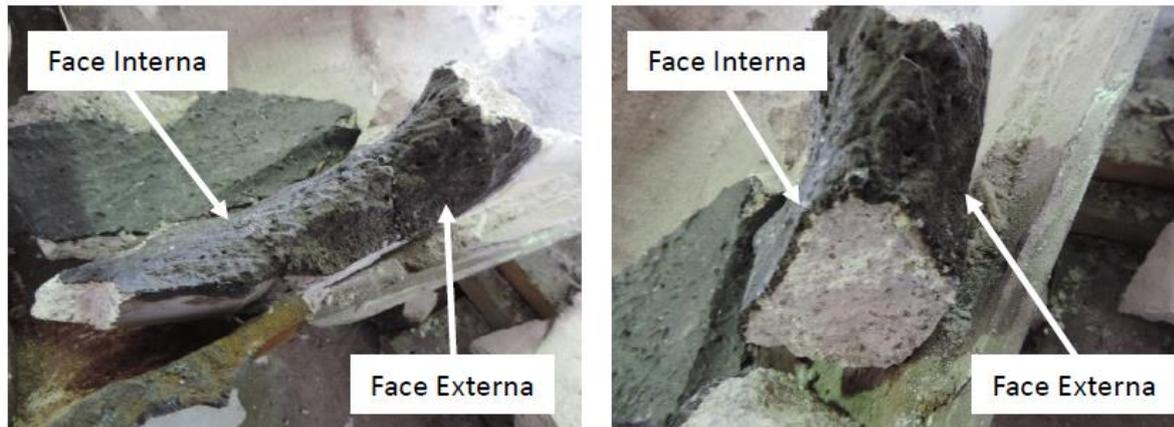


Figura 12 – Infiltração de escória por trincas no refratário

As trincas pré-existente no revestimento refratário, ilustrado na Figura 12, podem ter facilitado a penetração da escória através do revestimento, no entanto este não foi o fator determinante para o “arrombamento” do algaraviz.

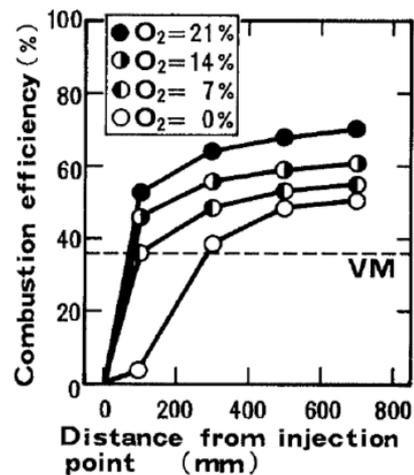
Caso a escória tenha com alto teor de gusa misturado, este poderá oxidar formando inicialmente FeO, o qual dissolverá rapidamente na escória formando fase com ponto de fusão ainda menor, potencializando o desgaste do refratário. Conforme verificado a escória aderida no algaraviz é composta de fase praticamente isentas de ferro.

3.1.2- Combustão de carvão.

De acordo com a literatura a vida útil do algaraviz/ventaneira estão muito atrelados aos parâmetros e a estabilidade operacionais do alto-forno (Shan-Wen Du e Portnov).

Mathiesona e Ueno descrevem que o carvão de PCI inicia sua queima na saída da lança ainda no interior da ventaneira, tendo como primeira etapa a desvolatilização do carvão. Ueno e colaboradores mostraram que esta etapa finaliza no máximo a 100 mm distante da lança, Figura 13. Desta forma se ocorrer instabilidade operacional no alto-forno a queima total do PCI pode ocorrer ainda no interior da ventaneira/algaraviz e em função de atingir temperaturas próximas a 2000° C a ponta da lança ira fundir e propiciar que o carvão queime ainda mais internamente no algaraviz e como já mencionado, a temperatura aproximada de fusão do revestimento refratário utilizado é próxima de 1900°C. A lança de PCI pode ainda gerar uma chama de óxícorte, gerando um ambiente ainda mais severo para o revestimento refratário e para a carcaça do algaraviz. Com essas conclusões temos

grandes evidências, de que foi a combustão de carvão no seu interior que propiciou seu “arrombamento”.



Influence of O₂ content on combustion efficiency.

Figura 13 – Combustão em função da distância da ponta da lança de PCI

3.1.3– RESISTÊNCIA AO DANO POR CHOQUE TÉRMICO

A Figura 14 mostra o gráfico da variação da resistência mecânica à flexão em três pontos (ASTM C133) em função da variação de temperatura do choque térmico, conforme proposto por Hasselmann a máxima variação de temperatura por choque térmico sem que a resistência mecânica sofra alterações significativas é de 600°C.

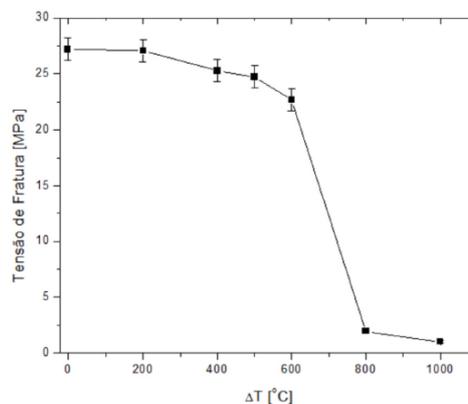


Figura 14 - Gráfico da variação da resistência mecânica à flexão em três pontos em função da variação de temperatura por choque térmico.

4- CONCLUSÃO

De acordo com os resultados, as falhas nos algaravizes ocorreram por ataque de escória e/ou por combustão de carvão em seu interior.

Não foram encontradas evidências de que as falhas ocorreram por inconformidades no concreto refratário.

Intensificamos a inspeção termográfica por parte da operação, corrigimos falhas na montagem junto a contratada, mudamos o tipo de refratário aplicado e melhoramos o procedimento de aplicação do mesmo.

Após implantação do trabalho de evitar queima de algaraviz em fevereiro de 2017 não tivemos mais nenhum arrombamento de conjunto de sopro conforme figura 15.

Linha do tempo – Ocorrências com Algaravizes



Em fevereiro/17, após análise de falhas, foi iniciado plano de ação sistêmico de contenção dos eventos.

- 35 algaravizes trocados por ponto quente
- 4 tubos retos trocados
- 3 Maminhas do anel de vento desobstruídas

Figura 15- Linha do tempo de ocorrências com algaravizes

REFERÊNCIAS

- 1 - . Shan-Wen DU, Wei-Hsin CHEN, John LUCAS. Performances of pulverized coal injection in blowpipe and tuyere at various operational conditions. Energy Conversion and Management 48 (2007) 2069–2076
- 2 - L. V. PORTNOV, L. D. NIKITIN, S. F. BUGAEV, V. G. SHCHIPITSYN. Improving the durability of blast-furnace tuyeres Metallurgist, Vol. 58, Nos. 5–6, September, 2014
(Russian Original Nos. 5–6, May–June, 2014)
- 3 - John G. MATHIESONA, John S. TRUELOVEB, Harold ROGERS. Toward an understanding of coal combustion in blast furnace tuyere injection. Fuel 84 (2005) 1229–1237.