



MONITORAMENTO DA FRENTE DE COMBUSTÃO DAS VENTANEIRAS DO ALTO-FORNO 3 DA USIMINAS - USINA DE IPATINGA*

Luiz Carlos Teixeira Brandão¹
Sabrina Magalhães Macedo²
Marco Aurélio Garcia de Oliveira³

Resumo

O Alto-Forno 3 da Usiminas em Ipatinga, que atualmente está na sua quarta campanha, apresenta 30 ventaneiras. Nesta campanha houve alguns eventos de arrombamento e avermelhamento dos algaravizes. A causa destas ocorrências são obstruções das frentes de combustão das ventaneiras, gerando diversos transtornos operacionais. A fim de se evitar novos fatos semelhantes foram desenvolvidos alguns sistemas de monitoramento das frentes de combustão. Dentre os sistemas desenvolvidos se destacam o diferencial de pressão do conjunto de sopro; e, o controle da temperatura do conjunto de sopro. Os sistemas desenvolvidos permitiram maior confiabilidade nas ações imediatas dos operadores em anormalidades na zona de combustão com consequente ganho em desempenho operacional do alto-forno.

Palavras-chave: Diferencial de pressão; Algaraviz; Ventaneira; Temperatura.

MONITORING THE FRONT OF COMBUSTION TUYERES AT USIMINAS'S BLAST FURNACE#3 - IPATINGA PLANT

Abstract

Usiminas Blast Furnace#3, in Ipatinga, which is in its fourth campaign, has 30 tuyeres. Recently it has been observed some hot spots and breaks in its blow pipes. The reasons for this problem are blocks in the tuyeres front and this situation causes several operational problems. Because of this, some monitoring systems of raceway it were developed, such as blow pipes differential pressure; and, blow pipes temperature control and raceway monitoring. The systems developed allow more reliability on immediate actions of specialist regarding raceway abnormalities with consequent better blast furnace performance.

Keywords: Blast furnace; Differential pressure; Blow pipes; Tuyeres; Temperature.

¹ Técnico Metalurgista, Gerência de Alto-Forno 3; Usiminas, Ipatinga, MG, Brasil.

² Engenheira Eletricista, Gerência de Manutenção de Sistemas Industriais; Usiminas, Ipatinga, MG, Brasil.

³ Engenheiro Metalurgista, Gerência Técnica de Redução; Usiminas, Ipatinga, MG, Brasil.

* Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



1 INTRODUÇÃO

Os altos-fornos são reatores utilizados para a produção de ferro gusa. As principais matérias-primas carregadas, pelo topo do alto-forno, são o sínter, minério de ferro granulado, pelota e o principal combustível utilizado é o coque metalúrgico.

Na região inferior é injetado ar quente e oxigênio que, ao reagir com o coque e com o carvão injetado pelas ventaneiras, gera o gás redutor monóxido de carbono (CO) e grande quantidade de calor. O gás de alto-forno flui em direção ao topo, em sentido contrário à descida da carga, proporcionando o aquecimento, a redução e a fusão da carga metálica. Como produtos desta redução, são gerados o ferro gusa e a escória [1].

A Usina de Ipatinga possui três altos-fornos, sendo os Altos-Fornos 1 e 2, com volume interno de 885 m³ cada um, e o Alto-Forno 3, que responde por cerca de 70 % da produção de gusa, cujas principais características são apresentadas na tabela 1.

Recentemente, houve alguns eventos de arrombamento e avermelhamento do conjunto de sopro no Alto-Forno 3. Considerando os impactos destas ocorrências, percebeu-se a necessidade de implantar o sistema de monitoramento da frente de combustão das ventaneiras e do conjunto de sopro propriamente dito, tendo como foco principal a redução do custo e principalmente a segurança operacional.

Tabela 1. Principais características do Alto-Forno 3 da Usiminas Ipatinga

Itens	Unidade	AF3
Volume interno	m ³	3163
Volume de trabalho	m ³	2950
Diâmetro do cadinho	m	12,2
Capacidade de produção	t/dia	8200
Número de ventaneiras	-	30
Número de furo de gusa	-	3
Topo	-	Duplo cone
Sistema de granulação	-	INBA
Temperatura máxima de sopro	°C	1200
Sistema de refrigeração cuba, ventre, rampa e cadinho	-	Stave-coolers
Início da campanha atual	-	29/10/1999

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Causas e Mecanismos que Provocam o Fenômeno

Em decorrência de desprendimentos de cargas inativas ou despreparadas da zona seca do forno que se alojam na região frontal das ventaneiras, ocorre obstrução total ou parcial do conjunto de sopro com carvão pulverizado. Neste caso, os combustíveis auxiliares [2] podem retornar através do algaraviz no sentido do anel de vento, e serem carregados para o conjunto joelho/algaraviz adjacente no sentido do fluxo de ar quente no anel de vento. Posteriormente, estes entram em combustão no interior do algaraviz para o qual foram carregados, causando fusão do revestimento refratário e consequentemente avermelhamento e/ou colapso estrutural do conjunto de sopro, conforme ilustrado na figura 1.

* Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.

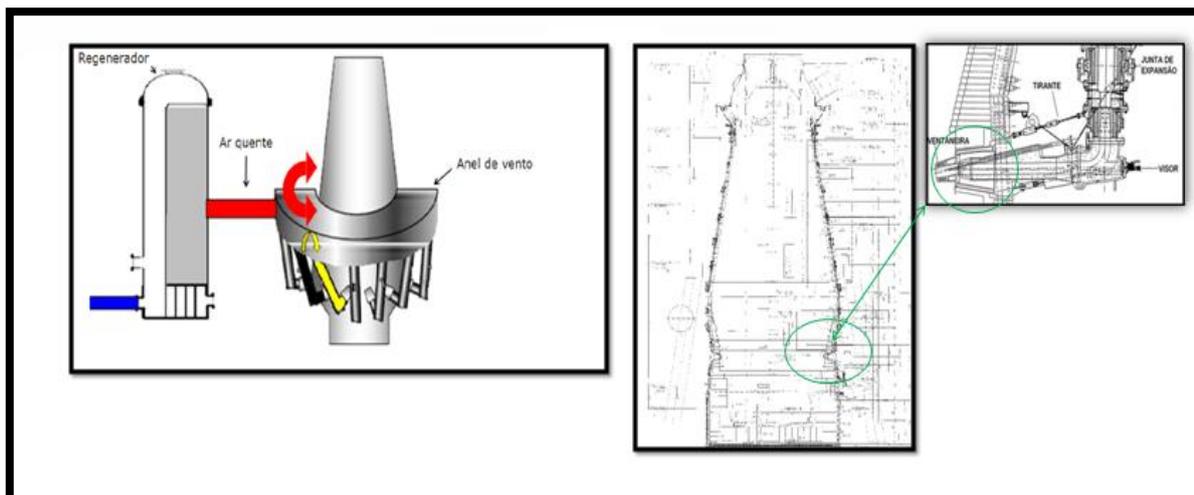


Figura 1. Esquema ilustrativo da ocorrência do fenômeno de obstrução da algaraviz.

Como contramedida para evitar as ocorrências de rompimento de algaravizes no Alto-Forno 3 da usina de Ipatinga, foi implantado a partir do mês de abril de 2013, o controle por variação de temperatura, denominado ΔT (diferencial de temperatura) de algaravizes; e, no mês seguinte, o sistema de controle por diferença de pressão, denominado o ΔP (diferencial de pressão) de ventaneiras.

Esses sistemas permitem a automatização do monitoramento térmico de algaravizes e de pressão de ventaneiras do alto-forno, melhorando a gestão das ocorrências, possibilitando ao operador uma maior confiabilidade nas tomadas de decisão.

Nesta contribuição técnica é apresentada a configuração destes sistemas bem como os resultados operacionais alcançados pelo Alto-Forno 3 após sua instalação.

2.2 Sistema de Controle por Diferencial de Pressão do Conjunto de Sopro

O sistema de diferencial de pressão é controlado por transmissores instalados nos conjuntos de sopro, tomando como referência a diferença de pressão calculada entre o transmissor de pressão de base do alto-forno. É instalado no trecho reto da tubulação de ar quente anterior ao anel de vento e os transmissores individuais de cada conjunto de sopro. Toda informação é enviada e monitorada por estações de supervisão instaladas na sala de controle central, atuando conforme lógica pré-estabelecida, desligando a injeção de combustíveis auxiliares sempre que uma anormalidade for detectada.

O critério de desarme da injeção de combustíveis auxiliares (gás natural e carvão pulverizado) e ligação simultânea da inertização com nitrogênio é quando a diferença de pressão calculada entre os dois transmissores atingir o *set point* visado para desarme e permanecer por 10 segundos abaixo deste valor.

Todos os alarmes do sistema, além de exibir informação na barra de alarmes da tela do supervisor de prioridade 1, também serão exibidos na tela como prioridade 3, conforme figura 2. Ou seja, uma janela *pop up* deverá alertar o operador, indicando que já foi desligada a injeção de combustíveis da ventaneira em questão e das ventaneiras adjacentes.

* Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



Figura 2. Tela da estação de supervisor informando alarme.

Após o desarme de injeção de carvão pulverizado e gás natural em uma ventaneira pelo sistema descrito, esta é inspecionada, observando a frente de combustão, irregularidades, retorno de escória, cascão parado, obstrução com carvão pulverizado e visor sujo. A retomada da injeção estará condicionada a inspeção criteriosa dos itens citados acima, liberando ou não a injeção naquela ventaneira.

As flutuações, acompanhadas *online* por gráficos de barra na tela do supervisor (figura 3), podem indicar o comportamento do alto-forno no que diz respeito à permeabilidade na sua base, ou seja, a facilidade com que o ar quente está passando pela ventaneira e penetrando na carga. Desta forma é possível traçar um perfil radial, verificando o balanceamento do alto-forno, bem como atuar caso seja necessário, de maneira a garantir o comportamento mais constante possível das ventaneiras. Esta informação de maneira precisa pode evitar instabilidade operacional no alto-forno, o que causa redução de produção e/ou consumo elevado de combustível. Toda avaliação destes dados é feita por meio da ferramenta gráfica de gestão das informações da planta.



Figura 3. Tela da estação de supervisor do sistema de diferencial de pressão.

2.3 Sistema de Controle por Diferencial de Temperatura do Conjunto de Sopros

O sistema de diferencial de temperatura é controlado por termopares de contato, que são fixados na chaparia dos algaravizes. Esses estão instalados aproximadamente a 350 mm da ponta do algaraviz e 150 mm deslocado da parte superior para esquerda conforme apresentado na figura 4.

* Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.

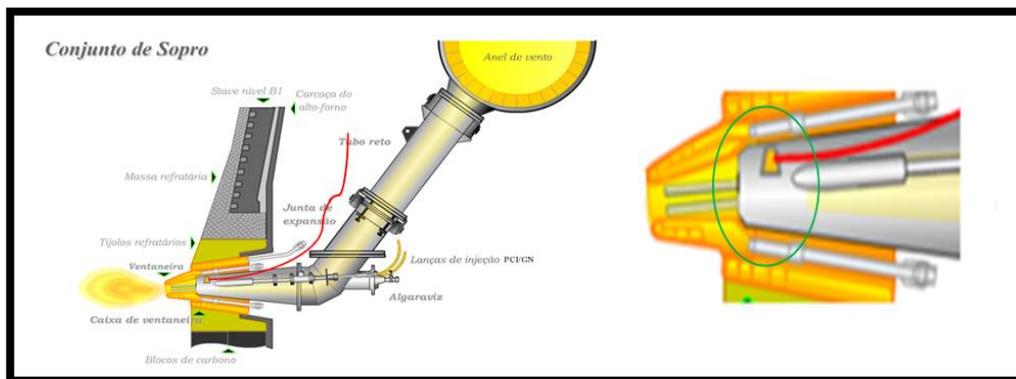


Figura 4. Esquema ilustrativo dos pontos de fixação dos termopares instalados.

Normalmente, as causas de variação na temperatura da carcaça do algaraviz são:

- desarme da injeção de combustível por baixa temperatura: este se dá em função de bloqueio da frente de combustão da ventaneira causado por carga inativa ou despreparada que, conseqüentemente, provoca retorno de combustível auxiliar (carvão pulverizado e/ou gás natural) para o conjunto de sopro adjacente dependendo do sentido do ar quente soprado na base do alto-forno; e,
- desarme da injeção de combustível por alta temperatura: este se dá em função da queima, dentro do conjunto de sopro, do combustível auxiliar (carvão pulverizado e/ou gás natural) que foi direcionado para o seu interior pelo anel de vento oriundo da ventaneira adjacente que se obstrui, provocando combustão interna e causando colapso estrutural do conjunto de sopro.

Desta maneira, o critério de desarme da injeção de combustíveis auxiliares (gás natural e carvão pulverizado) e ligação simultânea da inertização com nitrogênio por variação de temperatura da carcaça do algaraviz é ocorrer queda ou elevação de temperatura em um algaraviz, atingindo a faixa visada de controle em um intervalo de 600 segundos.

Dentro deste sistema de controle, há também um alarme de temperatura alta, informado quando o algaraviz atingir 320°C e de temperatura muito alta quando o algaraviz atingir 350°C (ressalta-se que, neste caso, o alarme é só para informação, não cortará a injeção de combustível auxiliar).

Similar ao diferencial de pressão, todos os alarmes do sistema, além de exibir informação na barra de alarmes da tela do supervisor de prioridade 1, também serão exibidos na tela como prioridade 3, já ilustrado anteriormente na figura 2. Ou seja, uma janela *pop up* deverá alertar o operador, indicando que já foi desligada a injeção de combustíveis da ventaneira em questão e das ventaneiras adjacentes.

Também neste caso, após o desarme de injeção de carvão pulverizado e gás natural em uma ventaneira pelo sistema descrito, esta é inspecionada, observando a frente de combustão, irregularidades, retorno de escória, cascão parado, obstrução com carvão pulverizado e visor sujo. A retomada da injeção estará condicionada a inspeção criteriosa dos itens citados acima, liberando ou não a injeção naquela ventaneira.

Toda informação é enviada e monitorada por estações de supervisor instaladas na sala de controle central, atuando conforme lógica pré-estabelecida, desligando a injeção de combustíveis auxiliares sempre que uma anormalidade for detectada.

Quando da ocorrência de parada do sistema, por exemplo, retornando de uma parada programada do alto-forno, o sistema de controle de ΔT é habilitado a partir

* Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



do valor médio de temperatura igual a 230°C. Isto se justifica em função da elevação natural de temperatura dos algaravizes no reinício de marcha, o que iria confrontar com a lógica de corte por temperatura alta. Um alarme será gerado informando a hora de habilitar o sistema de controle; ou, quando do início da injeção de combustíveis auxiliares. Toda avaliação destes dados é feita por meio da ferramenta gráfica de gestão das informações da planta, conforme ilustrado na figura 5.



Figura 5. Tela da estação de supervisor do sistema de diferencial de temperatura.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir é apresentado um registro de ocorrências no Alto-Forno 3 (evidência objetiva) no intuito de exemplificar o problema, indicando a necessidade e a eficácia dos sistemas implantados. Pela figura 6 é possível observar a indicação gráfica da ocorrência registrada no colapso estrutural do conjunto de sopro 7 em 23/04/2013. Ressalta-se que, nesta data os sistemas, embora instalados, ainda não estavam testados e implantados.

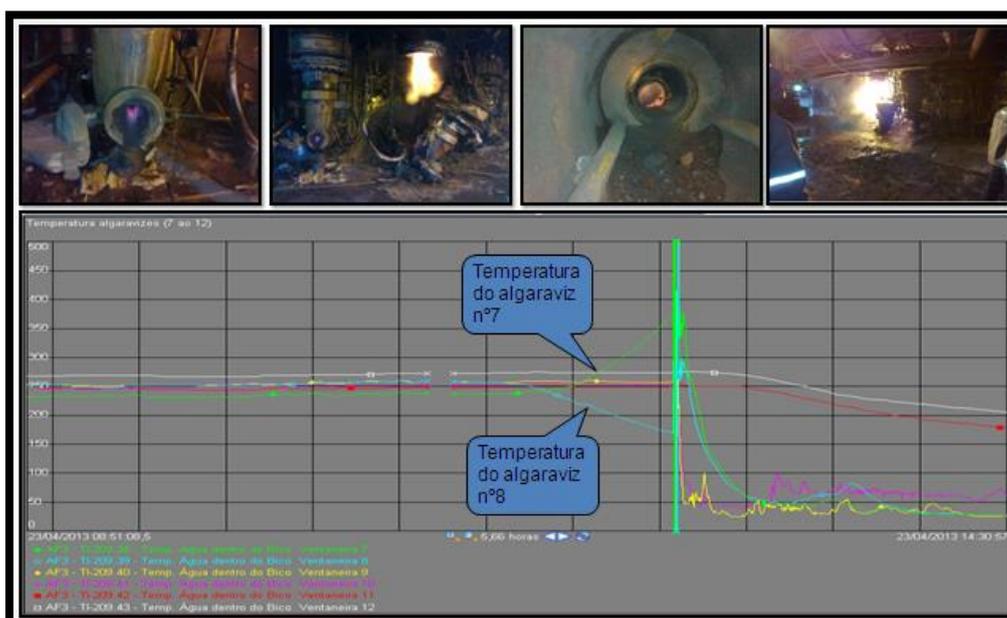


Figura 6. Esquema ilustrativo demonstrando o colapso do conjunto de sopro 7.

* Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



Com o perfeito funcionamento dos sistemas mencionados, conseguiu-se sanar as causas de acidentes ou princípio destes e melhorar a segurança operacional do Alto-Forno 3 no que diz respeito a acidentes causados pelo fenômeno explicado.

É importante ressaltar que não foi registrado nenhuma ocorrência desta natureza nos algaravizes do Alto-Forno 3 após implantação dos sistemas acima citados.

A equipe operacional do Alto-Forno 3, ainda está em processo de aprendizado e domínio das ferramentas citadas nesta contribuição técnica. Além disso, está em andamento um projeto complementar que visa a instalação das câmeras de vídeo para monitoramento individual por conjunto de sopro. Assim, com o monitoramento *online* de pressão, temperatura e visual por ventaneira, os ganhos em segurança operacional e, conseqüentemente, melhores ganhos em desempenho serão plenamente alcançados na operação do alto-forno.

4 CONCLUSÃO

Com os sistemas de controles pelo diferencial de pressão e temperatura devidamente instalados e ajustados, todas as expectativas operacionais foram confirmadas, com destaque para: (i) melhor segurança de pessoas; (ii) maior confiabilidade do sistema; (iii) monitoramento operacional *online*; e, (iv) maior estabilidade operacional.

Agradecimentos

Aos colaboradores das gerencias envolvidas da Usiminas Usina de Ipatinga, e a todos que de alguma forma dedicaram e contribuíram para o sucesso desse trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 Fernandes MV, Duarte WA, Carvalho JS. Terceira Campanha do Alto-Forno 3 da Usiminas In: 31^o Seminário de Redução de Minério de Ferro-Abm, Santos: ABM, 2000. 10p.
- 2 Babich AS, *et all.* – Co-Injection Of Noncoking Coal And Natural Gas In Blast Furnace. *Isij International*, 1999; 39(3): 229-238.

* *Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.*