

BLOWDOWN DO ALTO-FORNO 02 DA ARCELORMITTAL TUBARÃO¹

*Luiz Augusto Wasem²
Erick Torres Bispo dos Santos³
Jorge Issamu Gushiken²
Fernando Kaoru Fujihara²
Frederico Godinho Cunha²
Leonardo Passos Perdigão²*

Resumo

Este trabalho apresenta os preparativos, o processo e os resultados do *blowdown* vivenciados no Alto-Forno 02 da ArcelorMittal que apresentou a marca de 13,3 milhões de toneladas de gusa produzidas desde o seu start up em julho de 1998, para um volume interno de 1.550 m³, 8 m de diâmetro de cadinho e uma produtividade 2,27 t/dia/m³. O ponto de destaque foi o planejamento do *blowdown*, onde diversas ações foram tomadas para promover o abaixamento da carga ao nível das ventaneiras com estabilidade e segurança, promovendo um amadurecimento das práticas para o controle deste evento, que foram de grande importância para a preservação dos equipamentos do Alto-Forno.

Palavras-chave: Altos-fornos; *Blowdown*; Cadinho.

BLOWDOWN OF ARCELORMITTAL TUBARÃO BLAST FURNACE Nº 02

Abstract

This paper of presents the preparation, the process and the results acquired in the *blowdown* ArcelorMittal's Blast Furnace 02 that presented the outcome of 13,3 million tons of cast iron produced since it started up in July of 1998, with an internal volume of 1,550 m³, 8 m of hearth's diameter and productivity 2.27 t/day/m³. The main point was the planning of the *blowdown*, when several actions were taken to promote the charge's lowering at the level of the tuyeres with stability and safety, promoting an improvement of the practices for the control of this event, which was extremely important to the preservation of the Blast Furnace's equipments.

Key words: Blast furnace; *Blowdown*; Hearth.

¹ *Contribuição técnica ao 39º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 10º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 22 a 26 de novembro de 2009, Ouro Preto, MG.*

² *Especialista de Altos-Fornos, ArcelorMittal Tubarão, Vitória ES*

³ *Gerente de Seção do Alto-Forno 02 e 03 da ArcelorMittal Tubarão, Vitória ES.*

1 INTRODUÇÃO

O Alto-Forno 02 da ArcelorMittal Tubarão teve seu início de operação em 1º de julho de 1998 às 21:28 h, concebido pelo consorcio das empresas Ferrostal, DME e SMS, sendo baseado em projeto europeu. Novas tecnologias foram implementadas visando melhorar o controle operacional, através da introdução de novos equipamentos. A tabela 01 abaixo apresenta as principais especificações técnicas do Alto-Forno 2.

Tabela 1 – Especificações Técnicas do Alto-Forno 02 ArcelorMittal Tubarão

| | |
|---------------------------------|---|
| Tipo | <i>Free standing</i> |
| Volume interno | 1.550 m ³ |
| Volume de trabalho | 1.374 m ³ |
| Diâmetro do cadinho | 8 m |
| Furos de gusa | 2 |
| Ventaneiras | 22 |
| Refrigeração | <i>Staves</i> (7 fiadas de Ferro Fundido e 3 fiadas de cobre) |
| Limpeza de Gás | <i>Bischoff</i> : 3 Elementos |
| Topo | <i>Bell Less PW</i> |
| Sistema de resfriamento cadinho | Spray de água na carcaça (cortina de água) |

Em função da crise econômica mundial que se instalou a partir de outubro de 2008, foi realizado o blowdown no dia 02 de dezembro de 2008 às 4h58, totalizando a marca de 13,3 milhões de toneladas produzidas, em 10 anos e 5 meses de operação. Este resultado foi fundamentado com um alto nível de estabilidade operacional, com elevada qualidade de matérias-primas, e empenho das equipes de operação, manutenções e parceiros.

Neste trabalho são apresentados os passos, os métodos e os resultados obtidos no blowdown do Alto-Forno 2 da ArcelorMittal Tubarão.

2 RESULTADOS

Em todo o seu período de operação, o Alto-Forno 02 da ArcelorMittal Tubarão apresentou os seguintes resultados acumulados:

- tempo de operação: 3.808 dias;
- índice de disponibilidade campanha: 98,90%
- produção acumulada na campanha: 13.392.508,5 toneladas, conforme Figura 1;
- produção média diária: 3.526,2 t/dia;
- produtividade média campanha (volume interno): 2,27 t/m³/dia;
- produtividade média campanha (volume trabalho): 2,57 t/m³/dia;
- produtividade acumulada na campanha: 8.640,33 t/m³; e
- quantidade de corridas: 46.702 corridas.

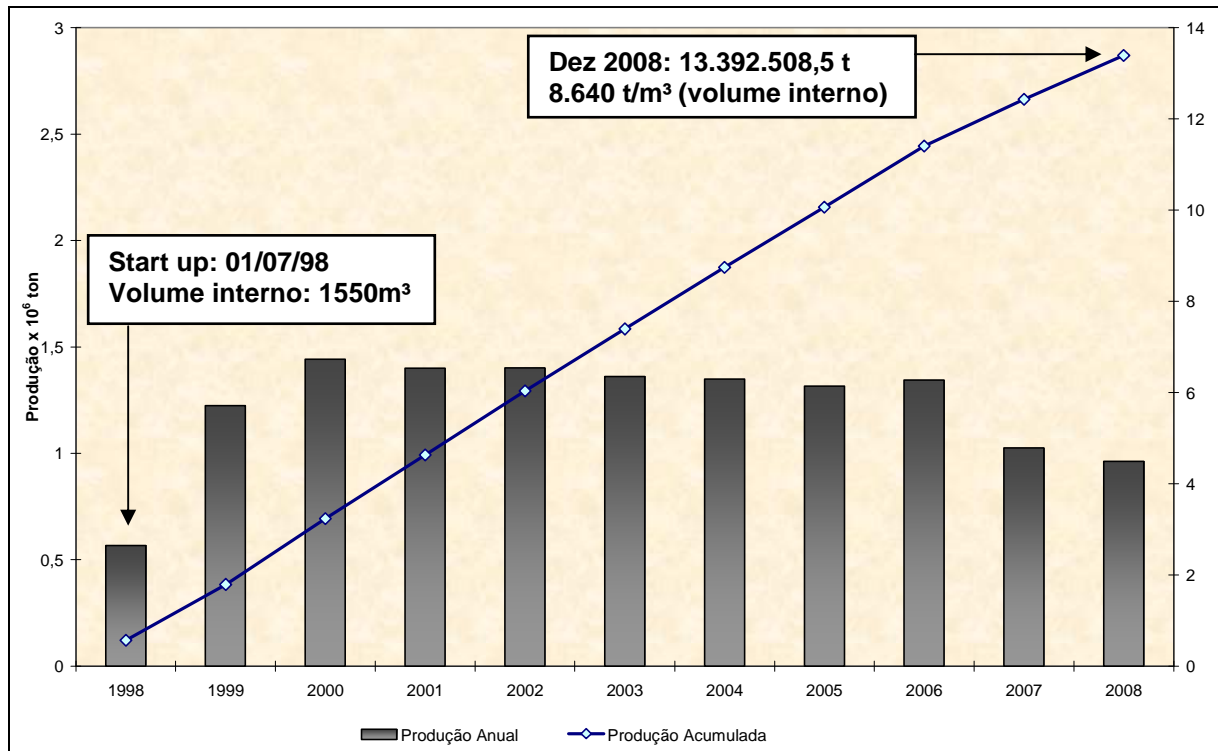


Figura 1 – Produção acumulada do Alto-Forno 02 da ArcelorMittal Tubarão.

3 DISCUSSÃO

O *blowdown* é uma operação onde o nível da carga é abaixado até o nível das ventaneiras, tendo como resultado final um cadinho cheio de coque com um mínimo remanescente de material líquido no interior do mesmo, ficando então vazio do nível das ventaneiras ao topo.

3.1 Preparativos para o *Blowdown*

Antes do *blowdown* propriamente dito, foram executadas diversas operações e testes visando efetuar, com a máxima garantia, o procedimento de abaixamento de carga, corrida da salamandra e apagamento do forno (*quenching*) assim como a limpeza posterior das paredes internas do forno e do cadinho. Para isto foram realizadas:

- *Aumento da marcha periférica*: o aumento do fluxo periférico visa à retirada de possíveis cascões na parede do forno, ao qual foi iniciado previamente, de acordo com a experiência adquirida na ArcelorMittal Tubarão. O aumento do fluxo periférico foi feito de modo lento e gradual e para isto foram feitos alguns ajustes na distribuição de carga, tendo como premissas:
 - carga térmica dos staves > 1.200 Kcal/min;
 - temperatura máxima dos staves de Ferro Fundido: 300°C; e
 - temperatura máxima dos staves de Cobre: 100°C.
- *Redução da basicidade da escória*: com o objetivo de evitar a formação cascões foi reduzida a quantidade de álcalis no interior do forno pela redução da basicidade da escoria. Além disto, foi elevado o silício visado de 0,8 para 1.
- *Aumento da permeabilidade do cadinho*: Uma boa permeabilidade do cadinho permitirá uma boa drenagem na corrida da salamandra, reduzindo assim o

esforço para a limpeza posterior do mesmo. A operação de aumento da permeabilidade do cadinho deu-se através de alguns procedimentos abaixo:

- Corte da injeção de carvão pulverizado: 30 dias antes do *blowdown* foi cortada a injeção de carvão pulverizado, substituindo-o por coque grosso.
 - Corte do consumo de small coque: 23 dias antes do *blowdown* foi cortado o consumo de small coque substituindo por coque grosso.
 - Redução da refrigeração da soleira: 13 dias antes do *blowdown* foi feita a redução gradativa de água de refrigeração do fundo do cadinho até o seu fechamento total visando atingir temperaturas próximos a 350°C;
 - Aumento do nível térmico do alto forno: 13 dias antes do *blowdown* foi visado uma temperatura do gusa em 1500°C ± 10; e
 - Carregamento de coque com maior granulometria: 12 dias antes do *blowdown* foi iniciado o consumo do coque chinês, com maior granulometria no centro do forno, privilegiando assim a sua chegada ao cadinho.
- *Alteração da carga do forno até o blowdown*: visando redução da produção de escória, foi alterado a carga para 50% de sinter, 40% de pelota e 10% de minério, conforme pode ser visto na Figura 2.

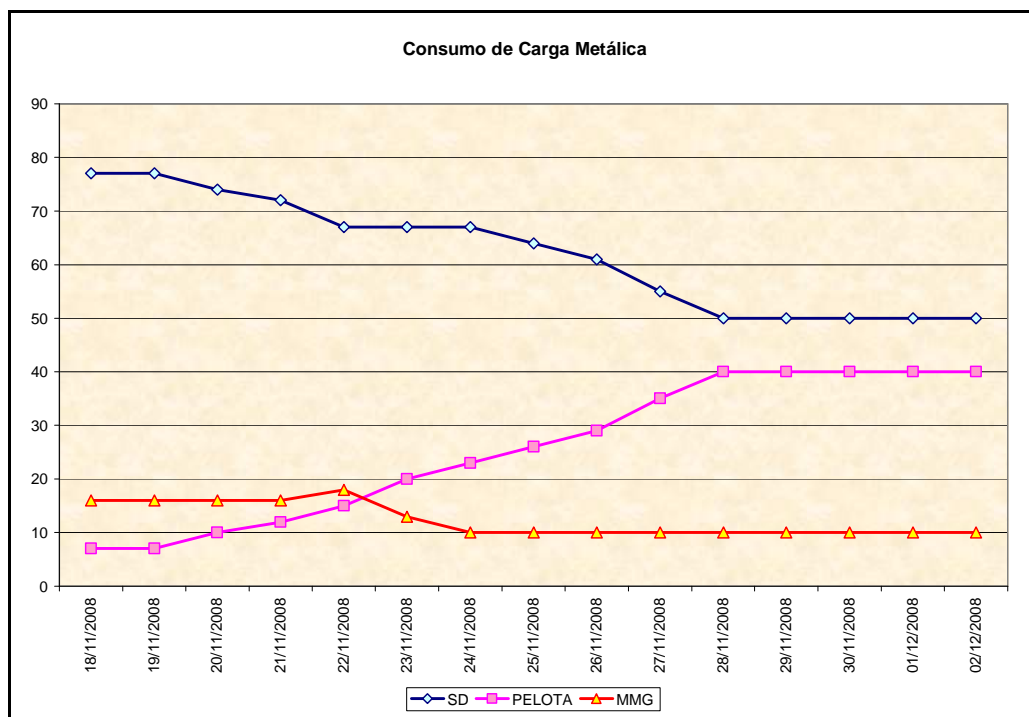


Figura 2 – Composição da carga metálica para o *blowdown*.

- *Paradas preparatórias para o blowdown*: Como a operação de abaixamento de carga de um Alto-Forno é uma atividade extremamente crítica necessita-se que todas as providências necessárias sejam implementadas anteriormente, assim como todos os equipamentos e operações devem estar disponíveis para utilização. Para isto foi realizado a primeira parada preparatória de 48 h no dia 17 de novembro de 2008 onde foram vários serviços realizados, entre os quais, os principais foram:
 - calibração do transmissor de pressão e vazão de nitrogênio do *blowdown*;
 - calibração do transmissor de vazão de água para *blowdown*;

- troca do o cabo de aço da sonda mecânica para cabo de aço inox;
- realização do corte de uma janela na carcaça do cadinho para a corrida da salamandra e soldado outra com menor espessura;
- instalação de 48 pontos de nitrogênio de purga no corpo do forno;
- realização do teste dos sprays para o abaixamento da carga (Figura 3) e válvulas de água para o quenching;

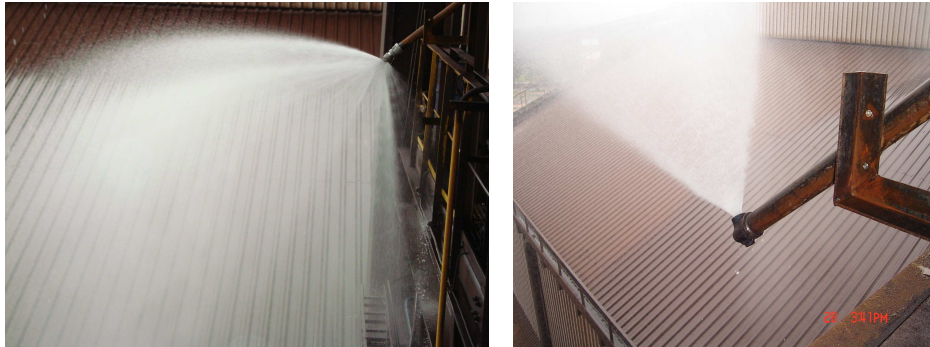


Figura 3 – Teste com spray parede (a) e central (b).

Estes bicos especiais tem a função de atomizar a água, evitando o contato direto da mesma com a carga, reduzindo assim a possibilidade de geração de H_2 . A ponta dos sprays usados tem um pulverizador com cerca de 1 milímetro de diâmetro que maximiza a habilidade da refrigeração do gás pela água e de converter a água para o estado de vapor antes desta alcançar a superfície da carga. Essa água utilizada no abaixamento de carga visa reduzir a temperatura do gás preservando assim os equipamentos do topo, formando um circulo de spray.

- instalado bocal para as tomadas de gás dos *off-takes* (Figura 4);

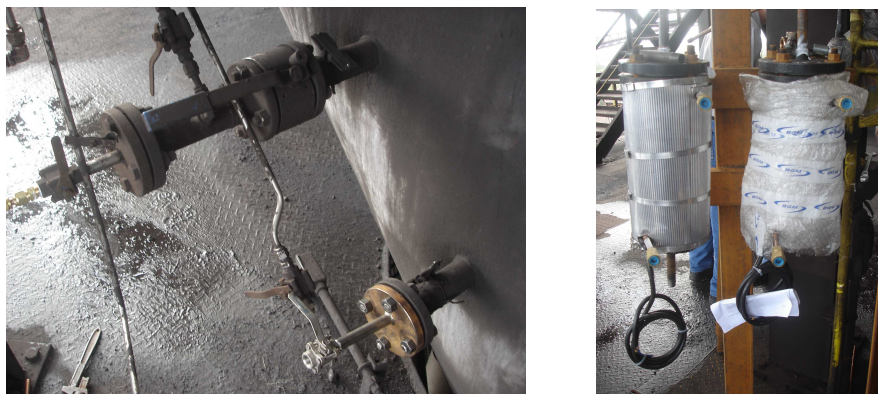


Figura 4 – Ponto de amostragem gás (a) e o filtros do gás (b).

A segunda parada preparatória de 12 h foi realizada no dia 25 de novembro de 2008 onde foram realizados os seguintes serviços:

- montado a tubulação do sistema de segurança (contenção de explosão), no manhole do coletor de pó (“fusível”); e
- efetuado testes de manobras e cronometragem do deslocamento de carros torpedos, visando definir a logística para a realização da salamandra.

Parada pré-*blowdown*: Esta parada foi no dia 01/12 de 8h40 às 17h40 com o principal objetivo de instalação de bicos de sprays especiais. Foram realizado os seguintes serviços:

- instalação dos seis tubos com os bicos de spray especial mais um central (Figura 5) e teste dos 6 tubos sem bico de spray (bico tipo agulha) para a inundação do cadinho durante o quenching; e

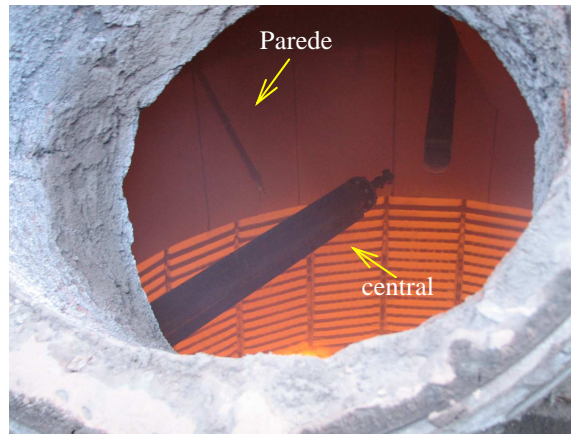


Figura 5 – Vista dos sprays central e os sprays da parede.

- Posicionada a calha rotativa na angulação de 47° visando posicioná-la de modo que a água do spray central possa protegê-la da temperatura.

O Alto-Forno foi parado com a carga conforme Figura 6, ou seja, com 6,4 metros de sonda, com 23 cargas de coque rate de 550 Kg/tg e no topo com 50 toneladas de coque grosso, conforme a Figura 6.

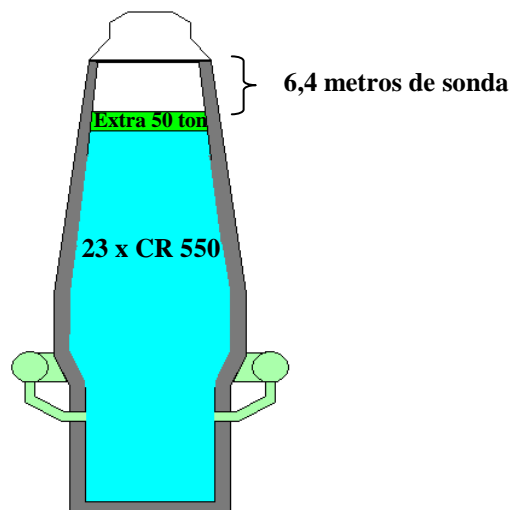


Figura 6 – Carregamento do Alto-Forno 2 para o *Blowdown*.

3.2 Abaixamento da Carga

Um *blowdown* é realizado pelo abaixamento da carga no interior do forno até o nível das ventaneiras. Basicamente é a parada do carregamento de material mantendo, enquanto for possível, o sopro de ar em função da temperatura de gás do topo e da análise do gás. O Alto-Forno retornou em operação as 17h40, desviando

todo o gás gerado para a torre de queima, evitando assim a sua distribuição na rede da usina.

À medida que a carga foi abaixando, foram abertos os respectivos pontos de nitrogênio que ficavam livres da carga na frente dos mesmo, controlando assim a concentração do gás gerado.

Durante o abaixamento de carga, foram realizados vários controles operacionais para que a descida de carga transcorresse conforme planejado, como pode ser visto abaixo.

3.2.1 Temperatura do gás do topo

O controle da temperatura do gás do topo foi de suma importância para a preservação dos equipamentos do topo. Esta em geral não ultrapassou os 450°C, em média, e os 70°C na caixa de engrenagem da calha rotativa. Esta temperatura foi controlada pela injeção de nitrogênio e injeção de água por spray no topo (spray central voltado para cima) e reduções no volume de ar soprado, conforme Figura 7.

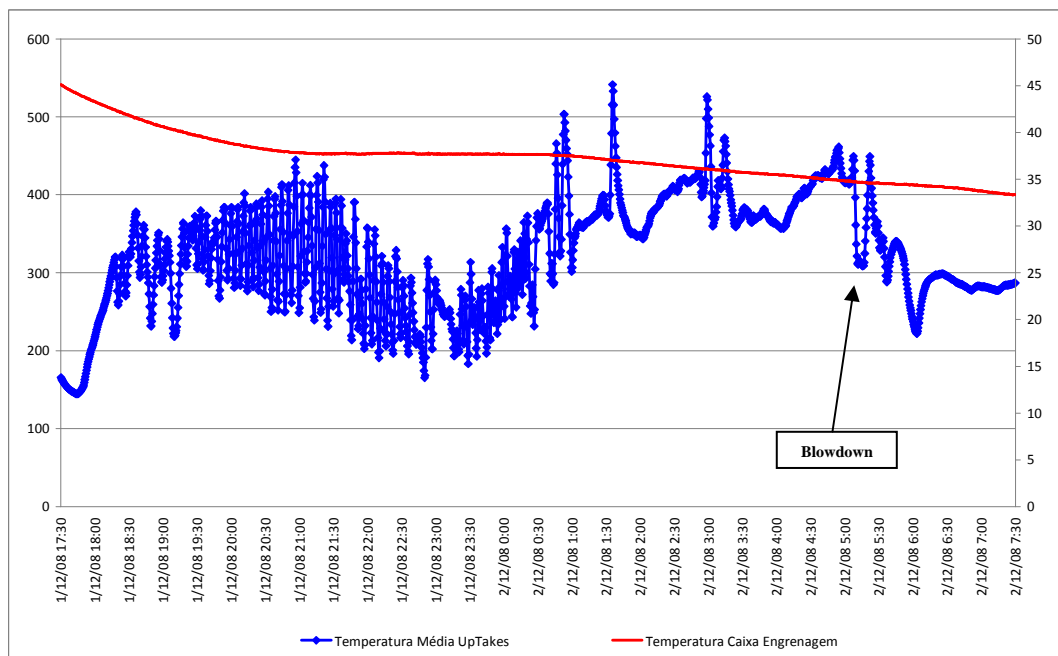


Figura 7 – Temperatura do Gás do Topo e da Caixa de Engrenagem.

3.3.2 Controle do nível de carga x volume de sopro acumulado

A seguir se encontram os gráficos do volume de sopro x nível de carga (Figura 8) e volume de sopro acumulado (Figura 9). O volume de sopro foi maximizado visando realizar o blowdown no menor tempo possível, sendo apenas limitado pela temperatura do gás do topo e pela composição de hidrogênio no gás do topo.

A descida de carga foi bem estável, sem a ocorrência de arriamentos ou chaminés durante todo o procedimento.

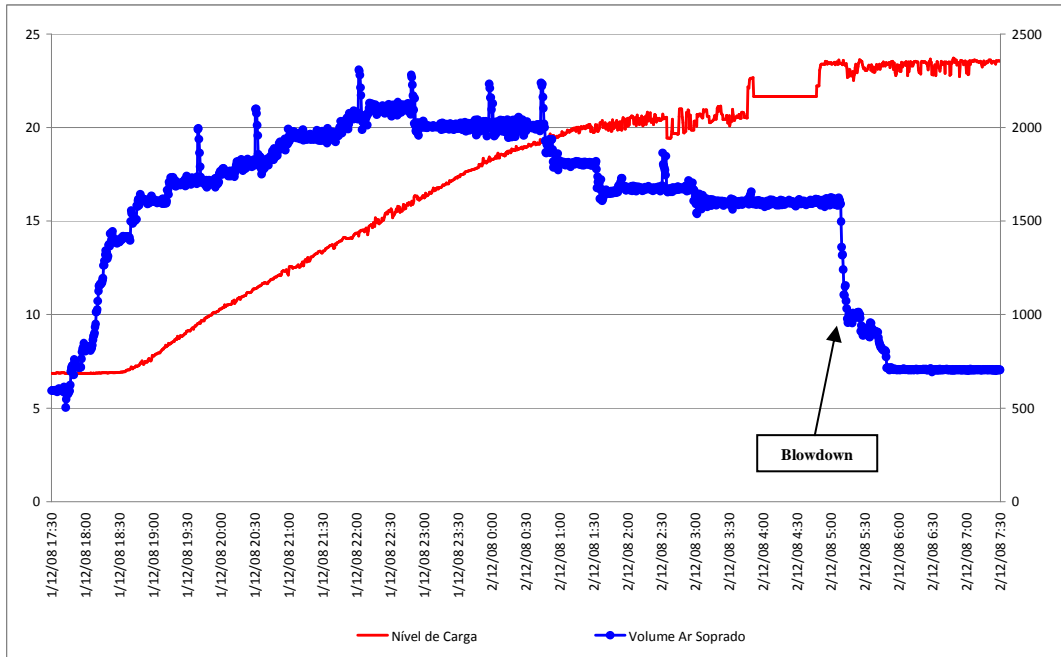


Figura 8 – Volume de ar soprado durante x Nível de Carga.

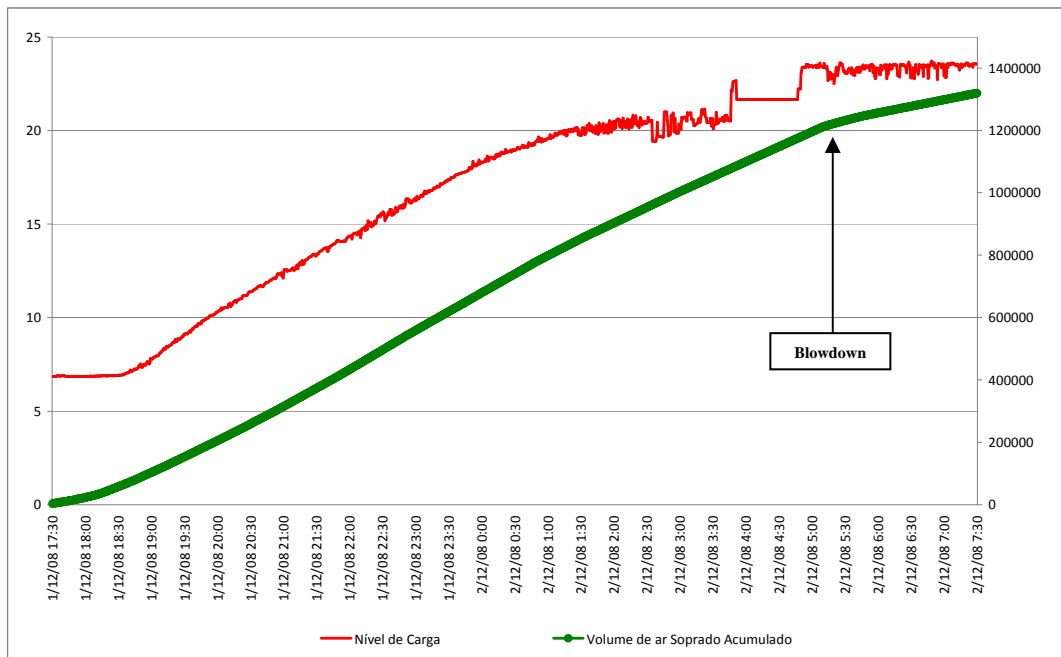


Figura 9 – Volume de sopro acumulado.

3.2.3 Composição do gás do topo

Por questões de segurança, foi limitado o hidrogênio em 12% na composição do gás do topo. O seu aumento se deu principalmente em função da injeção de água no topo do forno para controle da temperatura, por este motivo, quando o limite estava próximo e a temperatura do gás do topo chegava próximo ao limite, havia a redução do volume de sopro.

A Figura 10 mostra que às 4h58, ocorreu a inversão da proporção do CO e do CO₂, chamado de “crossover”, indicando o fim do blowdown, pelo fim do coque a frente das ventaneiras, caracterizado também às 5h12 pela elevação do O₂ e pelo apagamento das ventaneiras, além da medição do nível da carga.

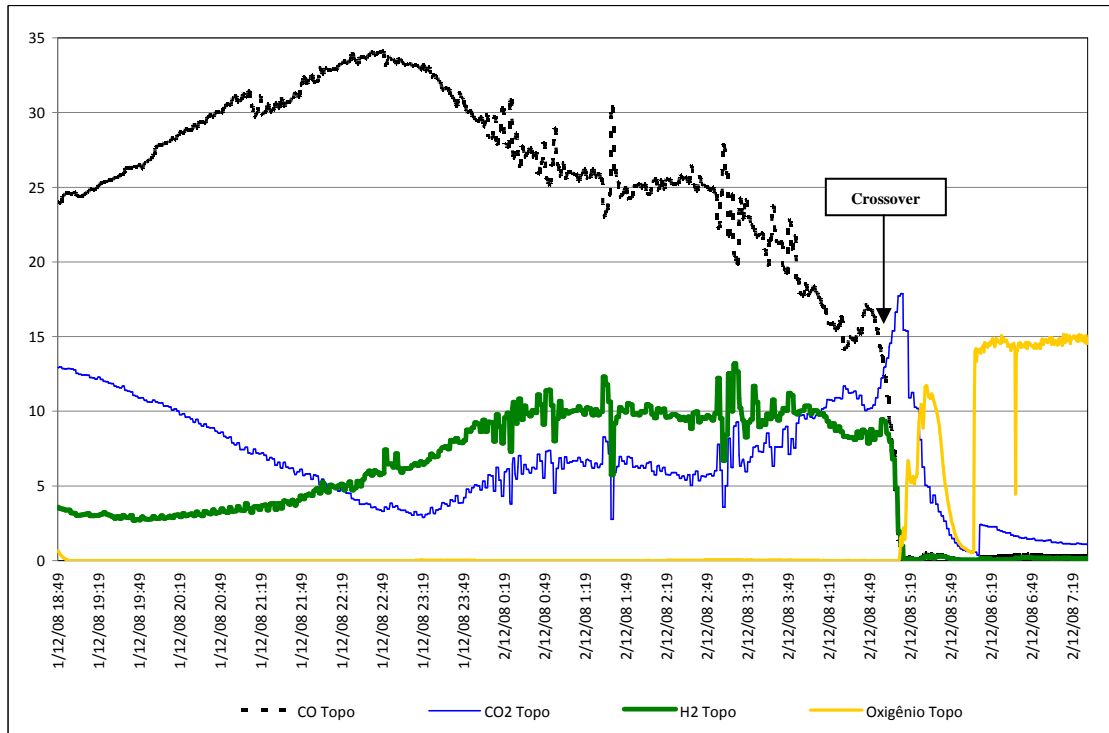


Figura 10 – Composição do gás do topo.

A indicação dos principais parâmetros do abaixamento de carga encontra-se na Tabela 2 abaixo:

Tabela 2 – Principais parâmetros do *Blowdown*

| Parâmetro | Valor |
|---------------------------------------|----------------------------------|
| Nível de carga | 23,4 metros |
| Volume de sopro acumulado | 1.213.803,3 m ³ de ar |
| Vazão spray central acumulado | 32,1 m ³ |
| Vazão de spray periférico acumulado | 476,02 m ³ |
| Vazão total de água de spray | 508,12 m ³ |
| Temperatura média up-take | 313 °C |
| Temperatura média caixa de engrenagem | 34,7 °C |
| Tempo de abaixamento da carga | 11h e 52 minutos |

3.3.4 Controle da casa de corrida

Foi estimado que, em função da carga carregada, aproximadamente 588,6 toneladas de gusa produzidas durante o blowdown, onde o real produziu 617,9 toneladas, em 5 corridas, dentro do previsto de 4 a 6 corridas. A previsão da produção de escória foi de 137 toneladas, enquanto o real foi de 138 toneladas.

A composição química do gusa e da escória das últimas corridas do blowdown, assim como os dados de corrida como perfuração, diâmetro de broca e quantidade de massa de tamponamento podem ser visualizadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Composição do Gusa e da Escória das últimas corridas

| Data da Corrida | 01/12/2008 | 01/12/2008 | 02/12/2008 | 02/12/2008 | 02/12/2008 |
|----------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Furo de Gusa | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Hora Inicio Gusa | 19:03 | 21:38 | 00:29 | 01:34 | 03:08 |
| Hora Inicio Escória | 20:45 | 22:00 | 00:49 | 01:59 | 03:30 |
| Hora Fim Corrida | 21:01 | 00:37 | 01:01 | 02:07 | 05:55 |
| Tempo Corrida (min) | 118 | 149 | 32 | 33 | 61 |
| Intervalo de Corrida (min) | - | 37 | 22 | 33 | 167 |
| Peso Gusa (ton) | 225 | 290,6 | 60 | 20 | 22,3 |
| Peso Escória (ton) | 50 | 65 | 13,5 | 4,5 | 5 |
| Temperatura Gusa (°C) | 1438 | 1509 | 1480 | 1480 | 1480 |
| % FeO | 0,40 | 0,43 | 0,37 | 0,37 | 0,39 |
| % SiO ₂ | 38,6 | 38,6 | 36,9 | 37,1 | 37,1 |
| % Al ₂ O ₃ | 12,0 | 12,0 | 12,9 | 12,8 | 13,0 |
| % CaO | 37,7 | 37,7 | 38,4 | 38,2 | 38,3 |
| % MgO | 6,383 | 6,389 | 6,339 | 6,515 | 6,613 |
| % TiO ₂ | 0,57 | 0,57 | 0,63 | 0,63 | 0,63 |
| % S | 1,12 | 1,11 | 1,37 | 1,33 | 1,37 |
| Basicidade Binária | 0,97 | 0,97 | 1,04 | 1,02 | 1,02 |
| Quantidade de Massa (Kg) | 120 | 120 | 120 | 240 | 30 |
| Comprimento FG (mm) | 2900 | 2800 | 2500 | 2800 | 3000 |
| Diâmetro Broca (mm) | 40 | 45 | 47 | 50 | 60 |

3.3 Corrida da Salamandra e Apagamento

3.3.1 Corrida da Salamandra

Para a corrida da salamandra, foi mantida uma pressão interna do Alto-Forno entre 150 g/cm² e 200 g/cm², pelo envio do ar pela linha de ar frio do moto-soprador e controlando a pressão interna, pelo fechamento total dos elementos do bischoff e pela abertura parcial do bleeder 03 do topo.

Desta maneira, foi feito o corte da chapa metálica provisória e iniciado as perfurações com angulação de 10° (Figura 11). O primeiro furo (inferior) não vazou e então foi realizada outra perfuração acima (superior), ao qual vazou, mas muito pouco material liquido foi retirado do interior do cadinho.

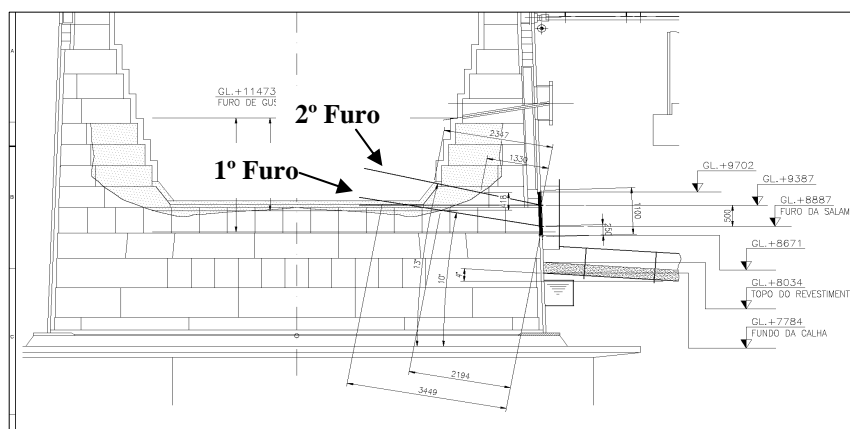


Figura 11 – disposição dos furos de corrida da salamandra.

Como não foi possível retirar uma grande quantidade de material pela corrida da salamandra, foi parado o volume de ar soprado às 11h55 do dia 3 de dezembro e iniciado os procedimentos para o apagamento.

3.3.2 Quenching

O resfriamento/apagamento tem como objetivo o rápido resfriamento dos refratários do cadinho e do coque do homem-morto, remanescente no Alto-Forno. Consiste em encher o Alto-Forno com água até 3 metros acima do nível das ventaneiras e mantê-lo cheio até que a temperatura do cadinho esteja suficientemente baixa para permitir o início dos procedimentos de limpeza, visto que não seria realizado nenhum corte da carcaça do cadinho.

Durante o apagamento do coque incandescente do homem morto, há uma grande formação de H_2 a partir da dissociação da água. Foi necessário, portanto, o acompanhamento e controle da análise dos gases no topo.

Para o procedimento, foram retiradas todas as 22 ventaneiras e substituídas por plugs com o intuito de realizar a selagem, e em alguns pontos, colocado tubulações equipados com termopares e medidores de pressão para controle da drenagem da água.

Às 3h09 do dia 04/12 deu-se o início do quenching com abertura da válvula de spray central, sequencialmente seguida pelas aberturas dos sprays da parede. Um dos controles mais precisos que foi executado foi a do controle da micropressão do forno que foi objetivada em 400 mmH₂O, visando a evitar a entrada de oxigênio. Durante o apagamento, atingimos um máximo de 39,4% de hidrogênio às 3h37, conforme a Figura 12, sendo que neste ponto o oxigênio estava praticamente zero (0,1%), chegando a um máximo de 0,55% às 4h20. Na medida em que o hidrogênio foi reduzindo, possibilitou a abertura sprays de inundação, enchendo o cadinho de água.

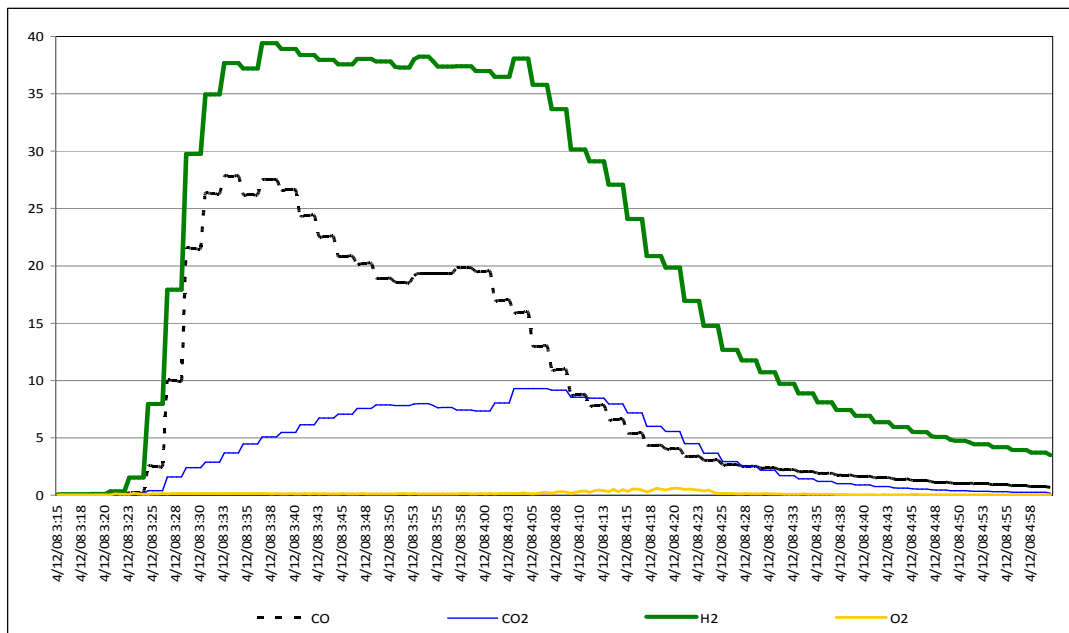


Figura 12 – composição dos gases durante o quenching.

O controle da vazão de água também foi de fundamental importância para o quenching, onde a Figura 13 mostra a vazão de água para o quenching. A totalização da água utilizada no quenching foi de 1.438 m³ proveniente do bico

especial e 575 m³ pelos bicos de spray para inundação, totalizando 2.013 m³ de água gastos para apagar o Alto-Forno, mantendo a água 3 metros acima do nível das ventaneiras.

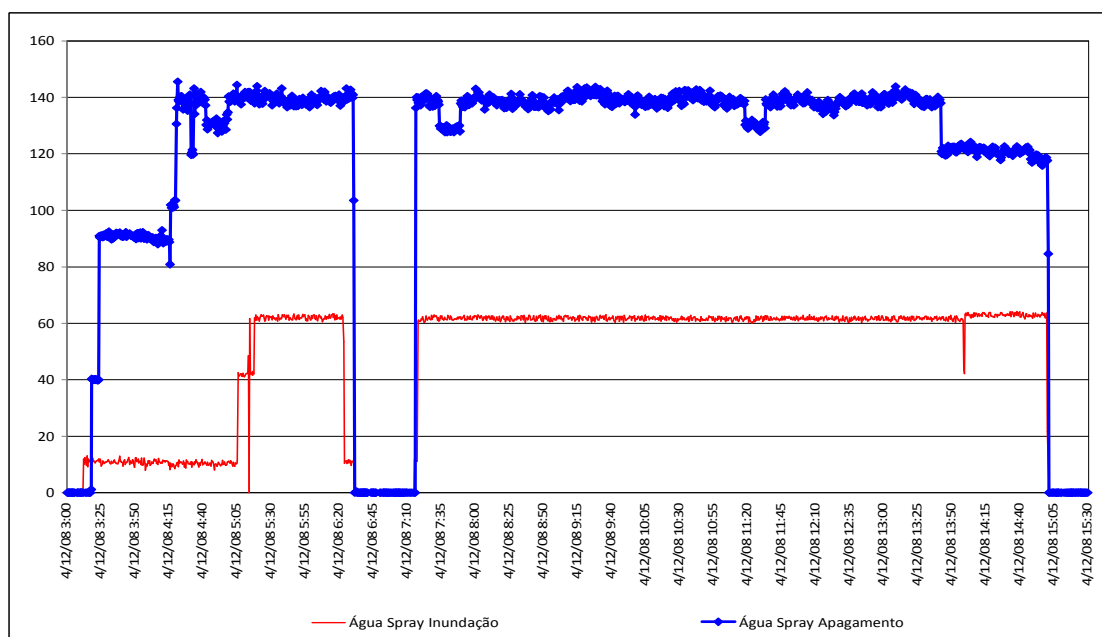


Figura 13 – Vazão de água do spray de apagamento e de enchimento.

Após o enchimento, foi monitorada a temperatura da água dentro do cadinho, repondo o nível da água perdida por evaporação e realizando trocas de água visando resfriar com maior velocidade. Quando a temperatura da água estabilizou a um patamar de 28°C a 30°C, foi iniciado, no dia 05/12, a drenagem pelos plugs instalados no lugar das ventaneiras e posteriormente pelos furos de gusa.

A água drenada foi encaminhada para o espessador do Alto-Forno 1, onde recebeu tratamento químico primeiramente com a adição de soda caustica (NaOH) objetivando a solubilização do gás HCN(g) e posteriormente a água recebeu a adição de hipoclorito de sódio (NaCl) oxidando o cianeto livre solubilizado CN⁻(aq) para CNO⁻(aq), sendo o cianeto oxidado 1000 vezes menos tóxico que o cianeto livre.

Após todos os parâmetros estarem enquadrados, a água foi reutilizada no sistema de lavagem de gás do Alto-Forno 1.

4 CONCLUSÃO

A evolução histórica operacional do Alto-Forno 02 da ArcelorMittal Tubarão até o seu blowdown, alcançando a marca de 13,3 milhões de toneladas, mostrou que grandes resultados são alcançados com dedicação e o empenho das equipes de operação, manutenções e parceiros, o que garantiu as melhores práticas e a estabilidade operacional do processo durante a sua operação.

O domínio e o desenvolvimento das técnicas utilizadas durante o *blowdown* promoveram uma descida de carga estável e segura, contribuindo assim para o sucesso do procedimento garantido pela confiabilidade nas análises e pelos equipamentos, assim como pela agilidade nas ações operacionais.