

# PLANEJAMENTO E EVOLUÇÃO DO RATING UP DO ALTO-FORNO 3 DA ARCELORMITTAL TUBARÃO<sup>1</sup>

Fernando Kaoru Fujihara<sup>2</sup>  
Frederico Godinho Cunha<sup>2</sup>  
Jorge Issamu Gushiken<sup>2</sup>  
José Antônio Novaes Pereira<sup>3</sup>

## Resumo

No momento em que se inicia a fase de expansão que tornará ArcelorMittal Tubarão a maior Planta Siderúrgica do país entra em operação o Alto-Forno 3, com 3.617m<sup>3</sup> e capacidade de produção de 2,8 milhões de toneladas por ano. Para que seja atingida a produção necessária de 8 milhões de toneladas de gusa por ano, atingiremos uma produtividade, no mínimo, 10% superior ao projeto. A entrada deste Alto-Forno em operação e sua elevação de produção tornam-se, desta forma, o foco da expansão na Área de redução da usina, que contou também com a elevação da produtividade da Sinterização e a construção de uma coqueria Heat Recovery no site da usina, cuja maior parte da produção destina-se ao Alto-Forno 3. Este trabalho visa apresentar alguns detalhes do planejamento envolvido no *Start Up* de um Alto-Forno, as etapas mais importantes do início de operação deste equipamento, os testes envolvidos e a elevação do ritmo de produção exigida para alcance dos objetivos da expansão.

**Palavras-Chave:** Expansão; Enchimento de alto-forno; Plano de *start up*.

## PLANNING AND RATING UP OF THE BLAST FURNACE 3 OF THE ARCELORMITTAL TUBARÃO

### Abstract

ArcelorMittal has been going through an expansion process that will make it the largest Steel Plant in the country and, during this moment, the operation of Blast Furnace 3 came to a start, a 3,617m<sup>3</sup> structure with production capacity of 2.8 million tons of hot metal per year. In order to achieve the total production of 8 million tons per year, it is necessary to reach productivity 10% higher than the project. Therefore, the start up of Blast Furnace 3 and its rise in production becomes the spotlight of the expansion in the Reduction Area, which also benefited from the rise in productivity of the Sinter Plant and the construction of a Heat Recovery Coke Plant that will supply all the coke consumed in Blast Furnace 3. This paper presents some details of the planning of the Start Up of a Blast Furnace, the most important phases involved, the tests and the increase in production required for the expansion.

**Key words:** Expansion; Blast furnace filling; Start up plan.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 63º Congresso Anual da ABM, 28 de julho a 1º de agosto de 2008, Santos, SP, Brasil*

<sup>2</sup> *Especialistas de Altos-Fornos da ArcelorMittal Tubarão*

<sup>3</sup> *Gerente da Área de Altos-Fornos 2 e 3 da ArcelorMittal Tubarão*

## 1 INTRODUÇÃO

Projetado para uma produção anual de 2.800.00t/ano o Alto-Forno 3 foi colocado em operação em 22/07/2007 como o principal equipamento para a expansão da ArcelorMittal Tubarão de 5,0 milhões para os previstos 7,5 milhões toneladas de aço produzidas por ano. Construído pelo consórcio VAI/Paul Wurth/Ferrostaal, o Alto-Forno 3, com o volume interno de 3.617m<sup>3</sup>, poderá atingir o ritmo de 8.800t/dia, que será avaliada sob os aspectos de vida útil do equipamento, disponibilidade da Aciaria e combustíveis para o Alto-Forno.

O sistema de refrigeração se baseia em *Staves Coolers*, inclusive no Cadinho do forno, que fornece maior proteção aos blocos de carbono, com *Staves* de cobre na Rampa, Ventre e Cuba Inferior do Alto-Forno.

Apresenta como principais inovações a Limpeza Primária do Gás, que usa Ciclone no lugar do Balão de Pó e o topo do Alto-Forno, onde foram adotadas três tremonhas.

O uso do Ciclone permite maior segurança na descarga do material e uma melhor captação de pó, já que sua eficiência supera 85%. Esta maior geração de pó implica em maior recirculação de co-produtos - já que todo material captado no Ciclone é reaproveitado diretamente na Sinterização - e menor estoque de Lama de Alto-Forno, que possui considerável teor de zinco e impossibilita o reaproveitamento total deste material.

As três tremonhas do topo Bell Less, além de maior disponibilidade para operação e manutenção, possibilitam maior flexibilidade operacional com o carregamento em mais 'batches'; o que aumenta as possibilidades de distribuição das matérias-primas dentro do reator.

O coque a ser utilizado é proveniente exclusivamente de uma coqueria Heat Recovery, e há ainda uma planta de injeção e moagem de carvão para abastecimento deste Alto-Forno que permite o envio de carvão pulverizado aos Altos-Fornos 1 e 2.

## 2 START UP

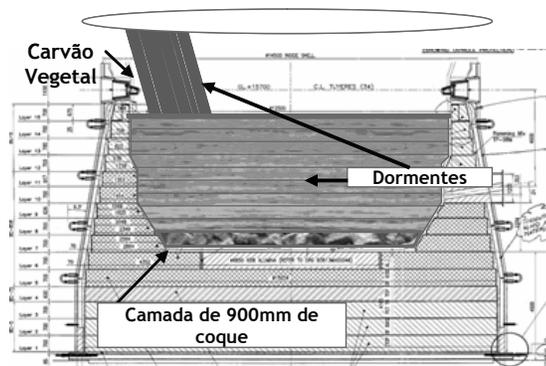
### 2.1 Planejamento do *Start Up*

O planejamento operacional para a entrada do Alto-Forno 3 se iniciou ainda em 2005, com a separação de uma equipe operacional dedicada a este Alto-Forno. O acompanhamento desta equipe permitiu uma avaliação crítica de cada uma das etapas do projeto daqueles que iriam operar o equipamento, buscando sempre práticas procedentes de experiências bem-sucedidas dos Altos-Fornos 1 e 2, onde ocorria grande parte dos treinamentos operacionais. As equipes completas para a operação deste Alto-Forno já estavam formadas 12 meses antes da entrada deste equipamento em operação.

O Plano Completo para o *Start Up* foi desenvolvido em conjunto com todas as áreas envolvidas na operação de partida do Alto-Forno, e contemplava desde detalhes operacionais ao *check list* minucioso de todos os equipamentos envolvidos, com intenso controle dos pontos importantes à manutenção da segurança do procedimento. Foram avaliados e discutidos procedimentos utilizados em diversas usinas siderúrgicas pelo mundo, além de acompanhamentos a operações de *Blow In* em outros Altos-Fornos.

## 2.2 Enchimento do Alto-Forno 3 e Testes Realizados

Logo após a secagem do Alto-Forno iniciou-se a etapa de enchimento. Para iniciar, optou-se pela colocação de dormentes, dispostos de forma organizada no cadinho do Alto-Forno. A função dos dormentes é garantir, durante o *Blow In*, a elevação lenta gradual do aporte térmico do cadinho de forma a garantir a integridade de seus blocos de carbono. Foram utilizados ao todo, aproximadamente 4.800 dormentes dispostos em 35 camadas até a distância de 0,5 m da ventaneira. Antes do início das cargas de enchimento foram colocados dormentes inclinados sobre as ventaneiras e logo à frente destas foi utilizado carvão vegetal para permitir a rápida ignição na ocasião do sopro. Uma camada de coque foi utilizada para que fossem cobertas as tubulações utilizadas na secagem do Alto-Forno (Figura 1).



**Figura 1:** Representação da disposição dos dormentes no interior do cadinho do Alto-Forno.

Para o enchimento o Alto-Forno foi dividido em 8 camadas com a evolução gradativa da quantidade de minério utilizada em cada uma delas. Cada camada possuía relações distintas Minério/Coque (M/C) e a mesma composição da escória formada. A primeira camada carregada era composta apenas de coque (M/C=0) e fundentes necessários para controle da qualidade química da escória formada. Nas outras a relação M/C aumentou gradativamente de 0,05t a 1,70t, correspondendo ao CR= 920kg/tgusa e Slag Rate=400kg/tgusa no topo do Alto-Forno.

Havia para o enchimento dois tipos de coque a serem utilizados: coque proveniente da coqueria *Heat Recovery* (SOL) e coque CDQ (*Coke Dry Quenching*) produzido em bateria convencional da ArcelorMittal Tubarão. As duas primeiras camadas foram compostas com coque apenas CDQ, já utilizado nos Altos-Fornos 1 e 2 e com qualidades química e metalúrgica conhecidas. Nas camadas seguintes a participação de coque *Heat Recovery* foi aumentada de forma a se ter na primeira carga após o *Blow In*, 100% deste. Tomou-se o cuidado também de diferenciar a granulometria e o tipo do coque carregado no centro do Alto-Forno. Para tanto, as duas toneladas de coque central carregadas a cada carga, era CDQ peneirado em 45mm; diferente da malha de 35mm utilizada para o restante do coque. O uso de coque de maior tamanho médio no centro do Alto-Forno é feito desde então, mesmo procurando utilizar neste Alto-Forno somente coque *Heat Recovery*.

Os fundentes, quartzo e escória de convertedor LD, foram utilizados para a manutenção da qualidade da escória formada dentro dos seguintes limites:

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> máx: 13%;  
MgO min: 6,5%;  
B2 médio: 1,0;  
B4 médio: 0,85.

Segue o resultado do enchimento realizado:

**Tabela 1:** Resultado sumarizado do enchimento do Alto-Forno 3

Camada	Coque CDQ	Coque SOL (t)	Sinter (t)	Pelota (t)	MMG (t)	Quartzo (t)	Esc. LD (t)
1	276,2	0,0	0,0	0,0	0,0	13,1	79,6
2	233,8	0,0	8,9	1,7	0,0	8,9	54,9
3	112,2	45,0	16,1	3,1	0,0	6,2	36,7
4	126,7	41,4	27,6	4,7	0,0	9,1	38,6
5	32,1	121,2	47,2	10,2	0,0	8,6	26,8
6	36,2	124,6	40,7	32,2	8,6	8,2	23,5
7	18,3	85,6	46,9	38,0	9,9	10,0	24,6
8	22,0	82,0	62,2	45,5	15,9	9,7	12,0
<b>TOTAL</b>	<b>857,4</b>	<b>499,8</b>	<b>249,5</b>	<b>135,3</b>	<b>34,4</b>	<b>73,8</b>	<b>296,7</b>

ANÁLISES DA ESCÓRIA FORMADA							
Camada	SiO <sub>2</sub> (%)	CaO (%)	B2	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	O/C	Geração (t)
1	38,35	38,39	1,00	11,98	7,02	0,00	87,00
2	38,56	37,01	0,96	13,12	6,78	0,05	65,36
3	37,25	37,89	1,02	13,38	6,90	0,12	45,40
4	39,26	37,19	0,95	12,38	6,77	0,20	51,30
5	38,64	36,99	0,96	13,13	6,66	0,42	43,72
6 e 7	37,23	37,97	1,02	13,19	6,57	0,76	80,53
8	37,85	39,15	1,03	11,41	6,68	1,22	31,80
<b>Total</b>	<b>38,12</b>	<b>37,84</b>	<b>0,99</b>	<b>12,65</b>	<b>6,78</b>	<b>0,30</b>	<b>404,87</b>

Foram realizados durante o enchimento alguns testes visando ajuste dos ângulos a serem empregados pela calha de distribuição na operação do Alto-Forno e do modelo de distribuição de carga utilizado. Foram definidos os ângulos máximo e mínimo de trabalho da calha, determinada a curva de abertura da válvula de material x vazão de material e feitos os testes de excentricidade, trajetória e segregação detalhados abaixo.

### 2.2.1 Definição da maior e menor inclinação de trabalho para a calha

Foi determinada a inclinação máxima possível para se atingir a parede do Alto-Forno no nível *Stock Line* -1m (SL de trabalho). Diferente do projeto, que visava a inclinação de 52,3°, a maior inclinação a ser utilizada é de 45°, independente da velocidade de rotação. Em relação à mínima, houve a possibilidade de redução do ângulo do projeto. Com a inclinação em 10° o material não atinge a parte inferior ou suas barras superiores e a descarga nesta inclinação é feita diretamente no centro do Alto-Forno (Figura 3).

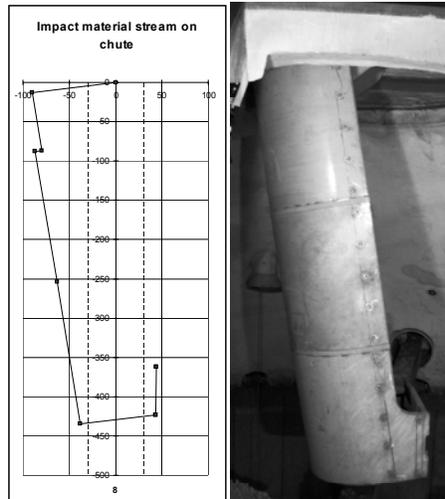


Figura 2: Determinação da menor inclinação de trabalho da calha rotativa.

### 2.2.2 Determinação da *flow curve*

Foi determinada a curva de abertura da LMG x Vazão de material para os três Hoppers a partir da medição do tempo de descargas para diferentes aberturas da válvula de material (Figura 3) e concluímos não haver diferenças significativas entre a curva de projeto e a obtida.

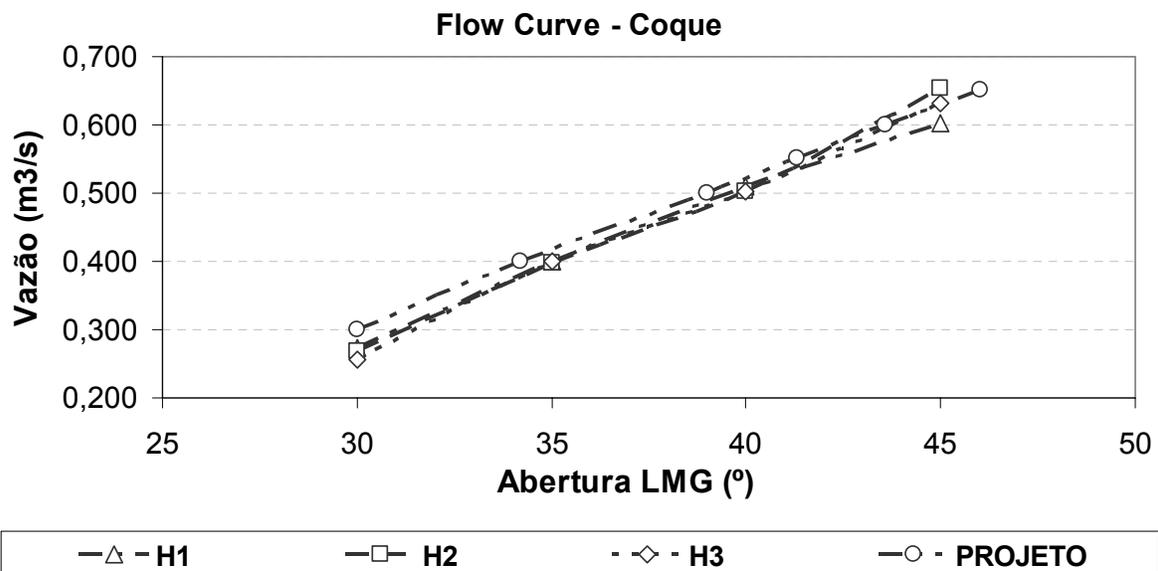


Figura 3: Comparação da *Flow Curve* de projeto e as obtidas para a descarga do coque dos três Hoppers do topo.

### 2.2.3 Teste de excentricidade

Foi determinado se há excentricidade na descarga de algum Hopper ou diferença entre eles a partir da medição do impacto da carga em barras de 1m distribuídas ao redor da goela do Alto-Forno (Figura 3). Considerando a precisão das medidas, não foram notadas diferenças significativas entre as descargas dos Hoppers ou alguma tendência de descarga deslocada do centro do Alto-Forno (Figura 5).

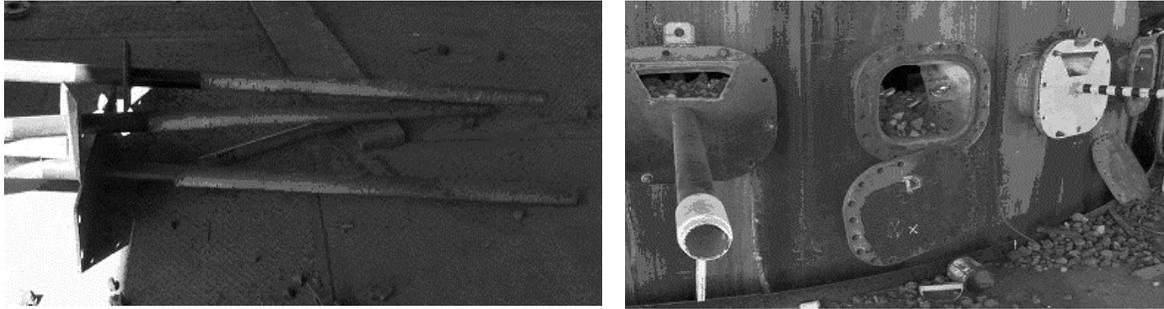


Figura 4: Barras inseridas na goela do Alto-Forno.

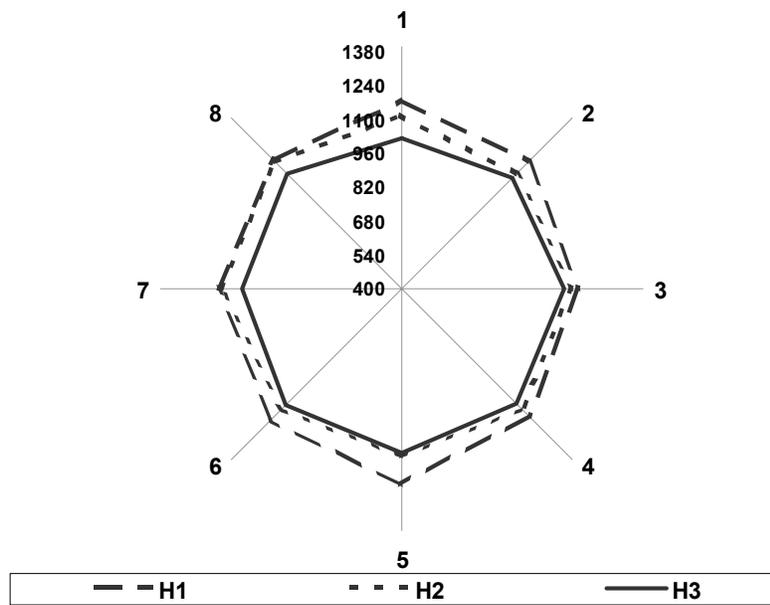


Figura 5: Comparação dos pontos de impacto da descarga dos Hoppers ao redor da goela do Alto-Forno.

### 2.2.4 Trajetória

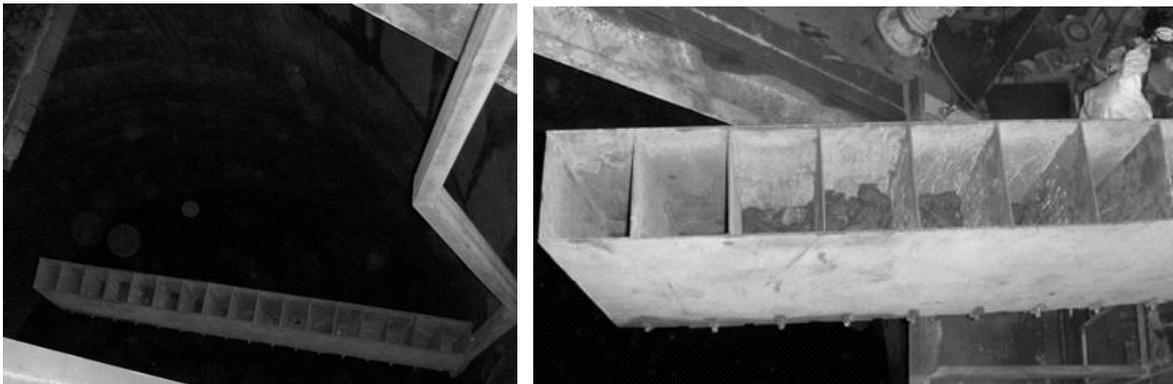
Com a utilização dos Gabaritos inseridos nos Man Holes das armaduras fixas, foi definida a trajetória do coque e da carga metálica típica do Alto-Forno (50% Sinter + 40% Pelota + 10% MMG) para avaliação da descarga e ajuste do modelo de distribuição de carga utilizado (Figura 4). Não foram notadas diferenças significativas entre a trajetória do coque e da carga metálica.



**Figura 6:** Exemplo de imagens utilizadas para a determinação da trajetória das diferentes matérias-primas.

### 2.2.5 Segregação

Verificou-se a segregação granulométrica do coque e da carga metálica com a amostragem do material em 4 pontos diferentes da altura da carga nos Hoppers do topo e na extensão do leque formado partir da análise do material colhido nas diferentes caixas do dispositivo construído (Figura 5), visando também ajuste do modelo de distribuição de carga. Foi avaliada, ainda, a distribuição da massa de material entre as caixas – ou na extensão do leque formado – em um dado ângulo da calha e diferentes velocidades de rotação (Figura 8). Nota-se que a velocidade de rotação da calha influencia na distribuição de massa no leque formado. Enquanto na velocidade de 8rpm o material é concentrado no centro, em 10rpm este se concentra na porção mais externa.



**Figura 7:** Amostragem do material na extensão do leque da descarga.

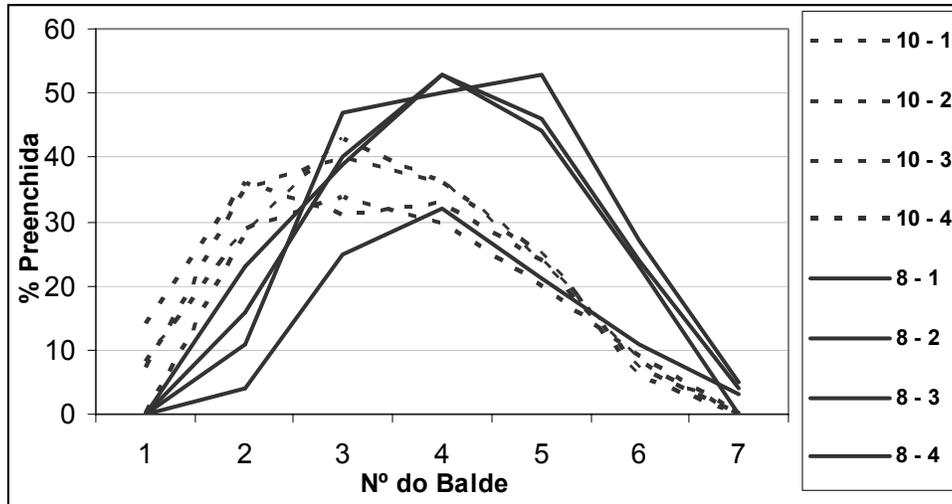


Figura 8: Densidade de material no leque forma à 36° de inclinação da calha rotativa a 8 e 10rpm.

### 2.3 Evolução das Primeiras 48 Horas de Operação

O *Blow in* do Alto-Forno 3 ocorreu às 14h do dia 21/07/2007 com todos os furos de gusa abertos, permitindo um aquecimento lento e gradual dos furos de gusa e dos blocos de carbono naquela região. Foram colocados queimadores em frente a cada um deles para minimizar o CO na casa de corrida. O fechamento dos furos iniciou 11 horas após o *Blow In*, quando a grande vazão de gás por um dos furos de gusa impediu que o queimador continuasse aceso. O último fechamento ocorreu 15 horas após o *Blow In*, quando a vazão de sopro já era 2.400Nm<sup>3</sup>/min.

Às ventaneiras – 130mm de diâmetro – foram instalados redutores refratários tetra partidos de 100mm e a retirada destes foi realizada de forma a manter a velocidade de ar em frente às ventaneiras abaixo de 200m/s. Foi priorizado a abertura das ventaneiras logo acima do furo de gusa onde seria realizada a primeira corrida e, à partir daí, procurou-se distribuir a retirada dos redutores pelo Alto-Forno.

A evolução da vazão de sopro acompanhou o planejamento e ao final do segundo dia de operação já estava próxima a 4.000Nm<sup>3</sup>/min de vazão de sopro com todas as ventaneiras em condições normais de operação.

A passagem de gás de Alto-Forno para Utilidades só foi feita após a confirmação do teor de oxigênio e hidrogênio abaixo de 1,0% e 10,0% respectivamente, sendo realizada apenas 75 minutos após o *Blow In*. A amostragem foi feita a partir da tomada de micro pressão de um dos *Up takes* e foi confirmada através do teste de queima na linha de gás limpo.

Dois canais de corrida estavam preparados com areia e direcionados para o *dry pit*, já secos e cobertos com escória britada, e, antes do horário previsto para a primeira corrida, já haviam sido realizadas perfurações para avaliação do nível de líquidos no cadinho. Às 13h05 do dia 22/07 foi feita a primeira corrida, tendo sido desviada para o *dry pit*, e às 16h50 do mesmo dia ocorreu a primeira separação gusa/escória.

Não houve no *Blow In* eventos que prejudicassem a evolução do procedimento planejado. O desenvolvimento operacional do equipamento neste início de operação esteve dentro da curva de evolução esperada, conforme pode ser visto a seguir.

### 2.3 Evolução Operacional do Alto-Forno 3

Já na manhã do dia 24/07 já foi enviado gusa à Aciaria dentro dos limites de qualidade para seu aproveitamento e, neste mesmo dia, foi feita a primeira granulação de escória. Na primeira corrida do dia 25/07, o teor de silício no gusa já era menor que 1%. A elevação da produtividade e abaixamento do consumo de combustíveis permitiram uma rápida queda e estabilização do silício (Figura 9) que quatro dias após o *Blow In* já estava no patamar de 0,3%.

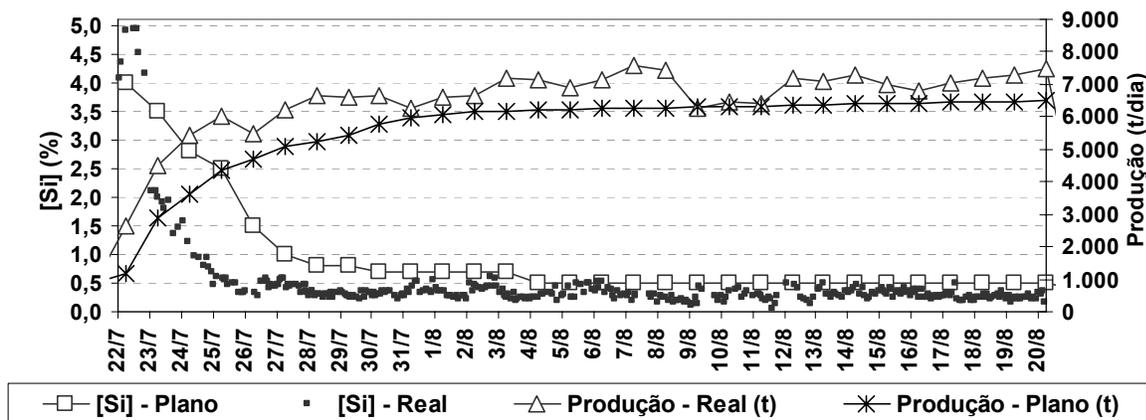


Figura 9: Evolução do Silício e da Produção diária de Gusa.

Em 26/07 se iniciaram os testes de injeção de carvão pulverizado a taxas restritas à 10t/h de carvão. Em 31/07, quando foi liberada uma das rotas de injeção, utilizou-se pela primeira vez enriquecimento de oxigênio permitindo a redução do coke rate, um mês após o *Blow In*, à 360kg/tgusa e a elevação à produção de 7.700t/dia, próximo às 7840t/dia visadas no projeto.

A evolução do consumo de combustíveis (Figura 9), conforme o planejamento, reflete a estabilidade operacional, apesar das diversas interferências encontradas com o ajuste de equipamentos, desenvolvimento do processo e dificuldades com o peneiramento das matérias-primas, principalmente do coque úmido. Devido à contingência às telas das peneiras originais de projeto, foi possível a evolução da qualidade das matérias-primas enforçadas às necessidades da produtividade exigida.

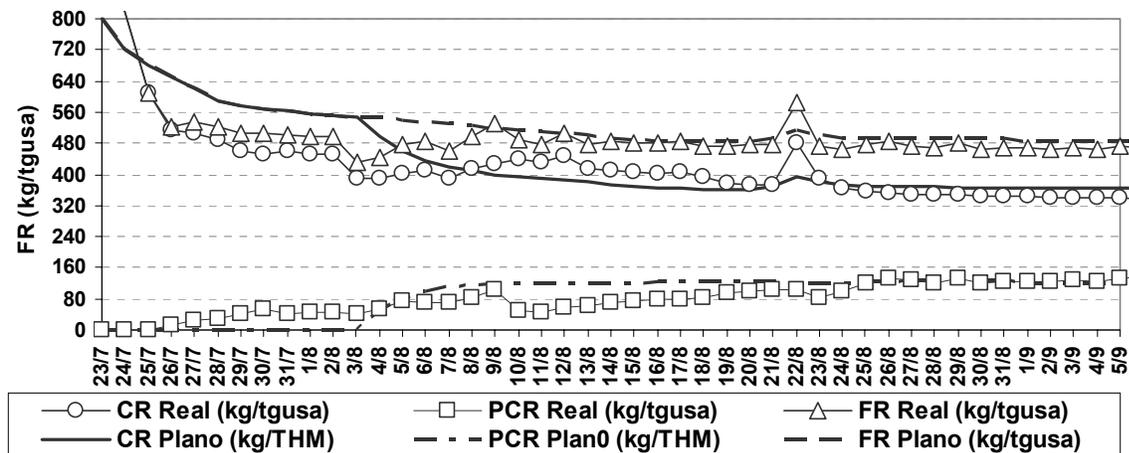


Figura 10: Evolução do consumo de combustíveis no Alto-Forno 3

### 3 CONCLUSÃO

O planejamento detalhado da operação de partida de um Alto-Forno é o principal fator de sucesso para o alcance dos resultados esperados e segurança da operação. O treinamento das equipes responsáveis pela operação e contingências elaboradas para os pontos considerados críticos se mostraram eficazes na evolução do Alto-Forno 3.

Foram realizados, durante enchimento do Alto-Forno, vários testes que permitiram avaliação e ajuste de novos equipamentos e além da trajetória dos materiais em função das diferentes inclinações da calha de distribuição, permitindo também ajuste do modelo de distribuição de carga utilizado.

A elevação da produtividade e redução do consumo de combustíveis foram realizados à medida que os novos equipamentos e operação foram adequados, permitindo o alcance às condições necessárias para a produção de 8 milhões de toneladas de gusa por ano.