

# UTILIZAÇÃO DO PROGRAMA SEIS SIGMA PARA A OTIMIZAÇÃO DO ESGOTAMENTO DE GUSA E ESCORIA NO ALTO FORNO 01 DA ARCELORMITTAL TUBARÃO<sup>1</sup>

*Roberto Da Cruz Júnior<sup>2</sup>  
Leonardo Passos Perdigão<sup>2</sup>  
Ernandes De Souza Belonia Filho<sup>3</sup>  
Eliel De Souza Freitas<sup>4</sup>  
Marcelo Bernardino B.Leite<sup>5</sup>  
Bruno Nunes Amorim<sup>6</sup>  
Alexander Rabello Ollmann<sup>7</sup>*

## **Resumo**

O presente trabalho tem por finalidade mostrar os desenvolvimentos e as melhorias realizadas nas áreas casas de corrida no Alto Forno 01 da AMT, obtidos através da utilização da ferramenta do programa 6 sigmas dos parâmetros de controle nas casas de corrida, visando reduzir os desvios ligados ao controle do esgotamento de escoria e gusa que proporcionam instabilidade no processo de produção de gusa. Os resultados alcançados com o uso desta ferramenta para definição das principais causas mostraram melhoras significativas dos parâmetros, tais: o índice de escoria, redução do índice de redução do volume de sopro, ligados ao esgotamento, números de corridas / dia, aumento da segurança operacional na abertura e fechamentos dos furos de gusa e conseqüentemente possibilitou a redução de custo do gusa.

**Palavras-chave:** Drenagem de escoria e gusa; Seis sigma; Alto-forno.

## UTILIZATION OF SIX SIGMA METHOD FOR METAL AND SLAG DRAINAGE OPTIMIZATION OF BLAST FURNACE 01 AT AMT

### **Abstract**

This paper shows the development accomplished at the cast house of BF#1, obtained through 6 sigma philosophy being possible to get better results of cast house parameters, reach lower deviation of hot metal and slag drainage, that affect the operational stability of the Blast Furnace. The result obtained with this 6 sigma philosophy showed the main parameters and their effects on slag index, hot metal and slag drainage, production losses, tap per day, safety on opening the tap hole, being possible cost reduction at the cast house operation.

**Key words :** Hot metal and slag drainage; Seis sigma; Blast furnace.

<sup>1</sup> *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.*

<sup>2</sup> *Membro da ABM, Especialista de Altos Fornos, AMT, Vitória, ES*

<sup>3</sup> *Membro da ABM, Especialista de manutenção de Altos Fornos, AMT, Vitória, ES.*

<sup>4</sup> *Técnico do Alto Forno 01, AMT, Vitória, ES.*

<sup>5</sup> *Coordenador da Manutenção Refratária da Reframax., Vitória, ES.*

<sup>6</sup> *Engenheiro de aplicação da Saint Gobain., Vitória, ES.*

<sup>7</sup> *Assistência técnica da Magnesita S.A., Vitória, ES.*

# 1 INTRODUÇÃO

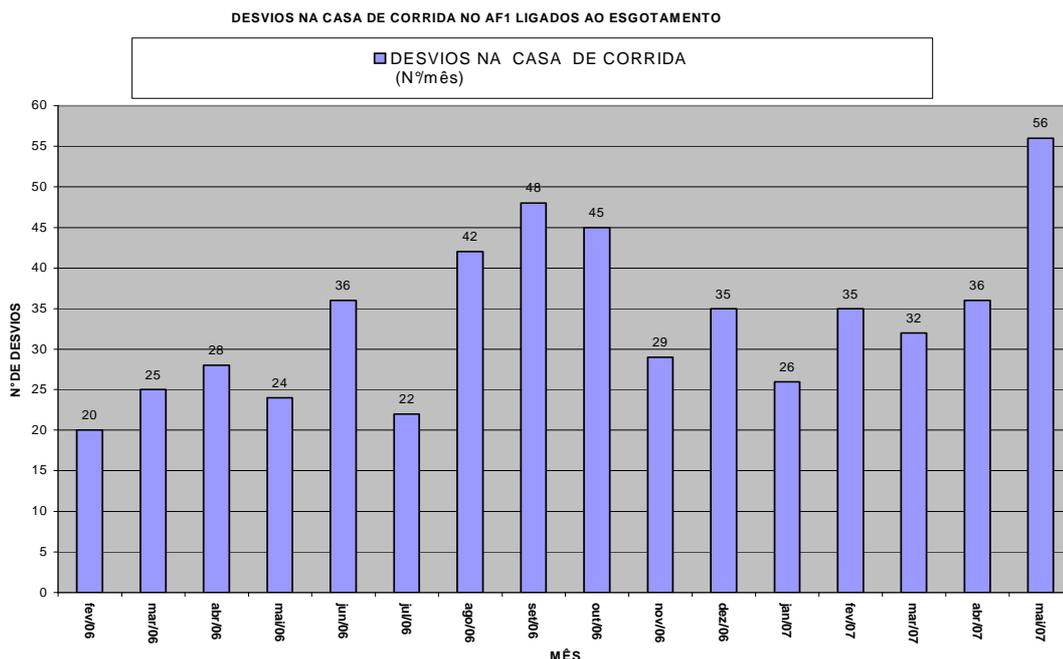
O Alto Forno 1 da ArcelorMittal Tubarão, teve o seu *start up* em 30 de novembro de 1983. Desde então vem se mantendo em campanha, em julho de 2009, atingiu a marca de 85 milhões de tonelada de gusa produzidos em 25,5 anos, atingindo a campanha mais longa e com maior produção acumulada do mundo.

Segue, na Tabela 1 as principais características do Alto Forno.

**Tabela 1.** As principais características do Alto Forno 01

<b>Tabela 1. Principais Características do AF1</b>	
<b>FORNO PRÓPRIO</b>	
Diâmetro do Cadinho	14 m
Volume Interno	4415 m <sup>3</sup>
Volume Util	3707 m <sup>3</sup>
Numero de ventaneiras	38
DN das ventaneiras	140 mm
Refrigeração	"Stave Coolers (água desmineralizada)"
<b>REGENERADORES</b>	
Tipo	4 Com camara de combustão externa
Temperatura de Sopro	1300° C
<b>TOPO</b>	
Tipo	2 cones com valvula de selagem do gás
Sistema de Carregamento	Correia Transportadora
Placas Móveis	18 armaduras móveis 1000 mm de curso
Pressão de Topo	2,5 kg/cm <sup>2</sup> (4 válvulas de controle 2x 600 mm e 2x 850 mm)
<b>CASA DE CORRIDA</b>	
Furos de Gusa	4
Granulação de escória	2 sistemas (2800 t/dia x2)
<b>INJEÇÃO DE CARVÃO PULVERIZADO</b>	
Fornecedor	Kuutnem Paul Wurth e Ferrostaal
Sistema de Moagem	Rolos Fixos
Capacidade da Moagem	94 t/h
Sistema de Injeção	Pela fase densa
Vasos de Injeção	3
Pressão de Injeção	14kg/cm <sup>2</sup>
Volume de silos de finos	2300 m <sup>3</sup>
<b>TRT</b>	
Fornecedor	Kawasaki Heavy Industries / Meiden
Tipo	Axial
Capacidade	20 MW

Buscando aumentar a produtividade do AF1 no final do semestre de 2006 os desvios aumentaram na operação da casa de corrida , conforme demonstra na Figura 1, gerando problemas de esgotamento de gusa e escoria e conseqüentemente instabilidade na operação do AF1.

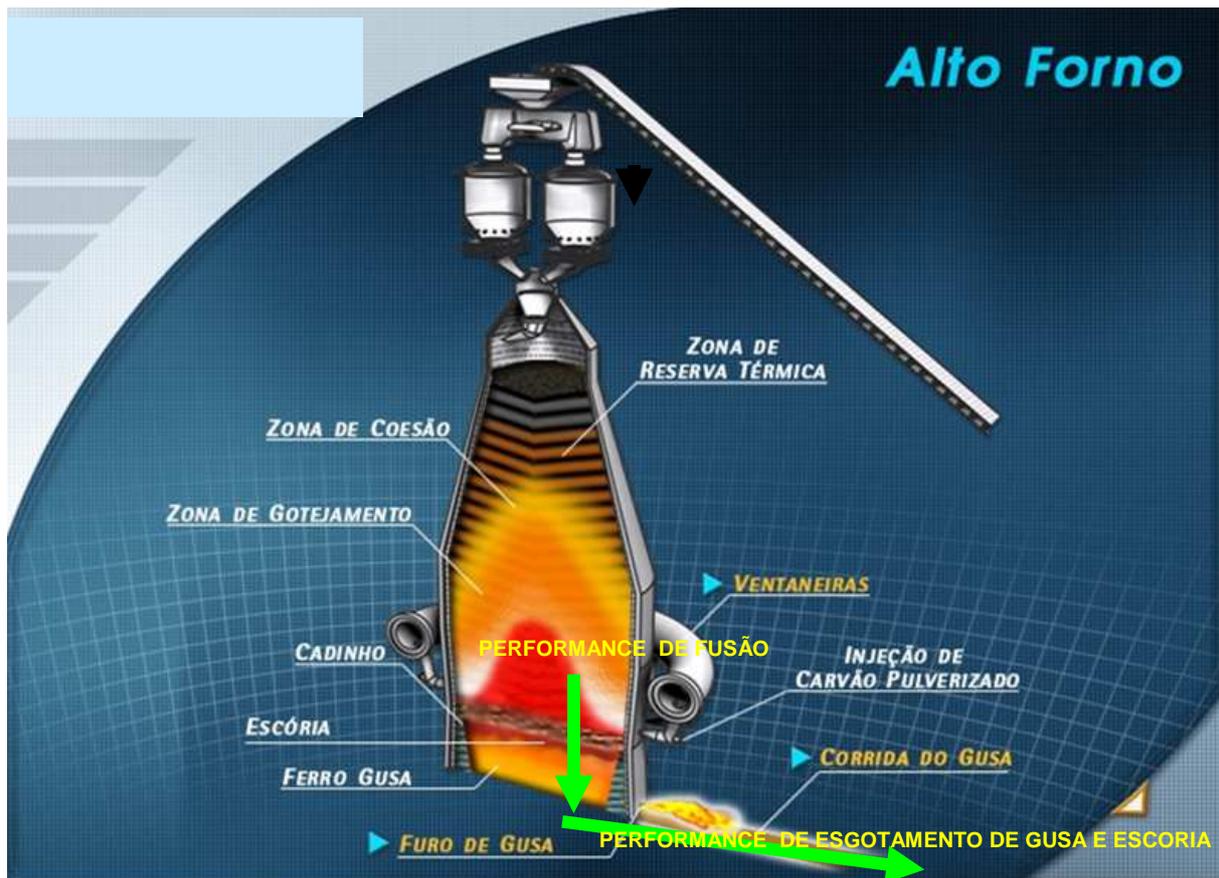


**Figura 1** –Desvios de esgotamento de casa de corrida do alto-forno 01.

Em função destes problemas foi solicitado a redução destes desvios utilizando o programa Seis Sigma<sup>(1)</sup> nas casas de corrida do Alto-Forno 01, este estudo foi iniciado em Dezembro de 2006 e finalizado com a implantação dos principais projetos em Novembro/07 com total envolvimento das outras áreas: operação, manutenção e fornecedores de refratários que proporcionam estabilidade no processo de produção de gusa.

## **2 DEFINIÇÃO TÉCNICA DE PERFORMANCE DE ESGOTAMENTO E DESVIOS NOS ALTOS FORNOS DA AMT**

São considerados desvios de parâmetros de casa de corrida no controle na AMT os parâmetros tais como: trinca no cogumelo do furo de gusa, excesso de comprimento do furo de gusa, arrombamentos de furo, pressão baixa de injeção da massa refratária, parada de pistão de injeção, super aquecimento da massa no canhão, retorno de massa, indisponibilidades dos perfuradores / canhões de lama, dificuldade de abertura no furo, arrombamento do cogumelo do furo de gusa etc. que reduzem a performance de esgotamento de escoria e gusa que dever igual à performance de fusão do Alto Forno<sup>(2)</sup> conforme demonstram na Figura 2.



**Figura 2** – Desenho esquemático de performance de fusão & performance de esgotamento de casa de corrida

As ocorrências destes desvios geram um aumento dos números de corridas /dia, reduções de volume sopro e balanço de gusa escoria negativo, a influencia estes desvios podem ser detectados através da redução do índice de escoria (I.E) das corridas que é definida na formula abaixo.

$$\text{I.E (Índice de escoria)} = \text{Tempo total de escoria (min)} / \text{tempo total da corrida de gusa (min)}$$

À medida que esta relação fica próximo de um, isto significa que estamos melhorando o esgotamento de escória e também o de gusa, um índice normal de trabalho para Alto-Forno 01 é entre 0,95 a 0,96 ,quando este índice começa reduzir , significa que a produção de escoria torna se superior ao retirado de dentro do cadinho do Alto-Forno,<sup>(3)</sup> e como consequência a possibilidade de ocorrer instabilidade no processo.

### 3 METOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DOS DESVIOS DA CASA DE CORRIDA

#### 3.1 Medição dos Desvios da Casa de Corrida

Conforme acompanhamento mensal no SD 2000 (sistema de controle de anomalias da AMT) e no banco de dados das casas da corrida do AF1 os desvios médios mensais de casa de corridas aumentaram de 25 para 45 casos gerando uma redução do índice de escoria de 0,96 para 0,92. Esta correlação dos desvios da casa de corrida e o índice de escoria é a apresentada na Figura 3.

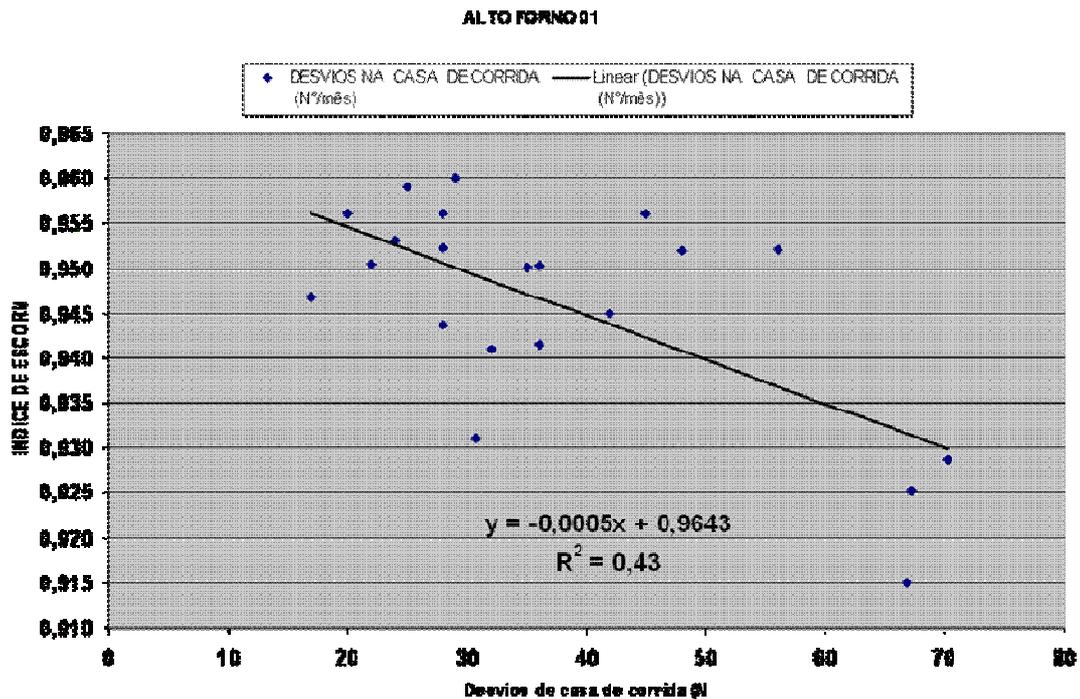
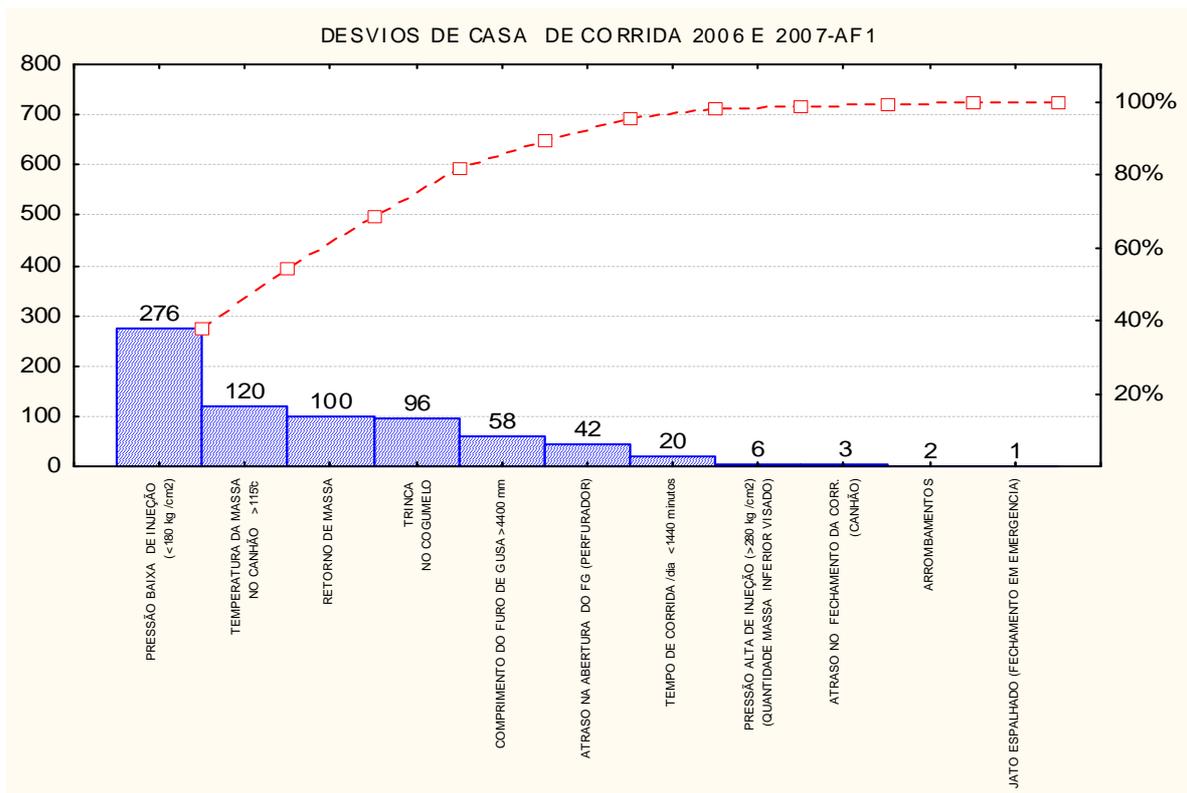


Figura 3 – Correlação dos desvios de casa de corrida com o índice de escoria do Alto Forno 01.

#### 3.2 Avaliação das Fontes dos Desvios da Casa de Corrida

Após realização da medição de todos os tipos desvios do ano de 2006 a fevereiro/07, através dos gráficos de pareto conforme demonstra na Figura 4.



**Figura 4** – Tipos de desvios de casa de corrida do Alto Forno 01.

Nesta fase do processo, foram levantados os diagramas de causa e efeito de cada fase do processo de esgotamento de gusa de escoria, mapa de processo, matriz de priorização, gráficos de regressão dos fatores de maiores correlação com desvios na casa de corrida, que corroboraram na análise para iniciar o processo de quantificação e definição das principais causas fundamentais, conforme demonstra na Tabela 2 e complementado por reuniões de brainstorming com a equipe técnica do AF, manutenção, operação e fornecedores de refratários.

**Tabela 2** - Regressão (fatores índice de escoria & desvios de casa de corrida)

RESUMO DOS RESULTADOS			
<b>Estadística de regressão</b>			
R múltiplo	0,842205661		
R-Quadrado	0,709310375		
R-quadrado ajustado	0,450919597		
Erro padrão	0,00913411		
Observações	18		
	<b>Coefficientes</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>valor-P</b>
<b>Interseção</b>	0,9554	0,010	0,000
<b>ARROMBAMENTO</b>	0,0016	0,005	0,762
<b>TEMPERATURA DA MASSA NO CANHÃO &gt;115°C</b>	-0,0003	0,001	0,661
<b>ATRASO FECHAMENTO (CANHÃO)</b>	0,0037	0,008	0,652
<b>RETORNO DE MASSA</b>	-0,0006	0,001	0,631
<b>PRESSÃO BAIXA DE INJEÇÃO (&lt;180 kg /cm2)</b>	0,0002	0,000	0,525
<b>C.F.G &gt;4400 mm (dificuldade de abertura)</b>	-0,0004	0,000	0,427
<b>ATRASO NA ABERTURA (PERFURADOR)</b>	0,0022	0,002	0,313
<b>TRINCA NO COGUMELO DO FG</b>	-0,0012	0,000	0,028

A partir desta fase, foi apontado como principais causas dos problemas: (qualidade físico/química da massa inadequada, trincas nos cogumelos, temperatura alta da massa refratária no canhão de injeção, instabilidade dos cogumelos dos furos de gusa, indisponibilidade dos perfuradores e pressão baixa de injeção da massa de tamponamento).

### **3.3 Melhorias Implantadas na Casa de Corrida**

Após definido as principais ações para eliminar as principais causas fundamentais foi preparado um plano estratégico para continuidade do projeto, e, os custos de implementação e efeitos colaterais das implantações das ações.

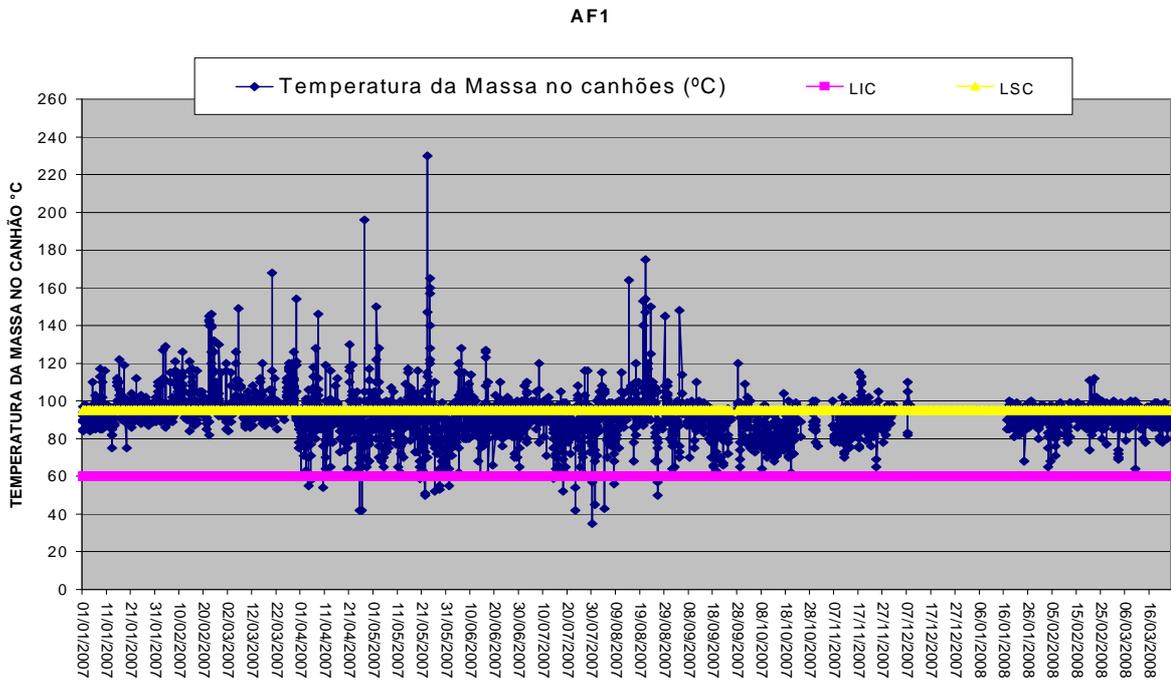
Todas as ações foram executadas e testadas conforme planejado em conjunto com a Unidade Técnica dos Altos-Fornos, manutenção e fornecedores de refratários. Ficando assim definido:

1. Desenvolver nova formulação de massa de tamponamento com Magnesita e implantar um novo fornecedor ( Saint Gobain) no AF1.
2. Solicitar aos fornecedores de refratário uma ferramenta de gestão para análise de desempenho de massa de tamponamento para possibilitar a identificação de interações e correlações entre os parâmetros avaliados permitindo tomadas de decisões mais rápidas tanto em relação a agilidade do desenvolvimento de novas formulações de massa de tamponamento.
3. Instalar ventiladores para controle da temperatura no canhão de massa e padronizar método.
4. Plano de manutenção dos perfuradores das casas de corrida do AF1 e padronizar método.

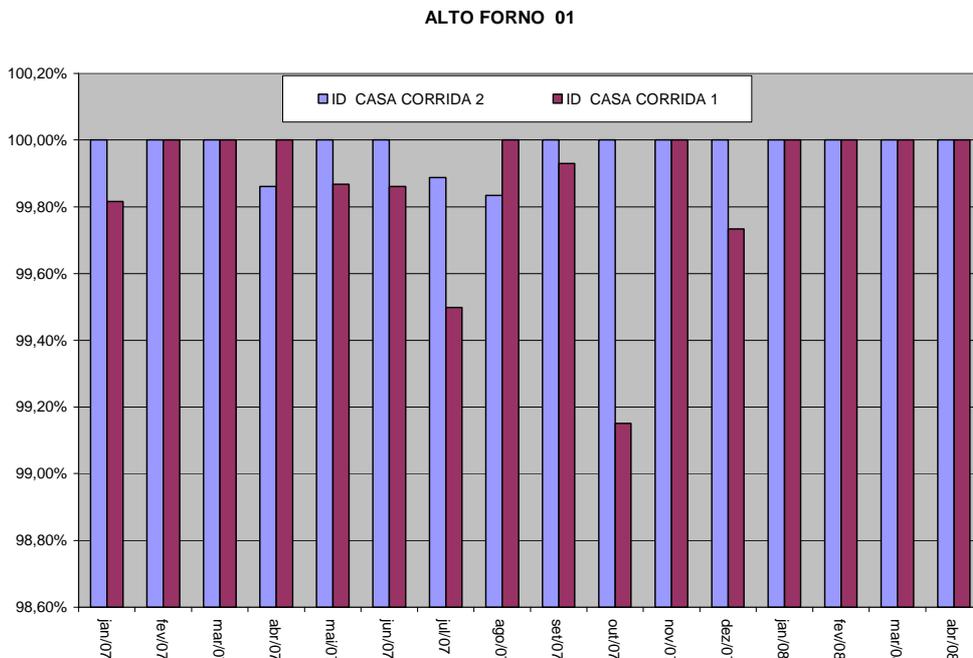
## **4 RESULTADOS**

O desenvolvimento de um novo fornecedor (Saint Gobain) e a nova formulação da Magnesita não necessitou de alterar os padrões para estas melhorias. Exceto a implantação de novos padrões: controle de temperatura no canhão, controle da pressão de injeção inicial / final e plano de manutenção dos perfuradores. Todas as equipes dos Altos-Fornos (operação e manutenção) foram treinadas nos novos procedimentos.

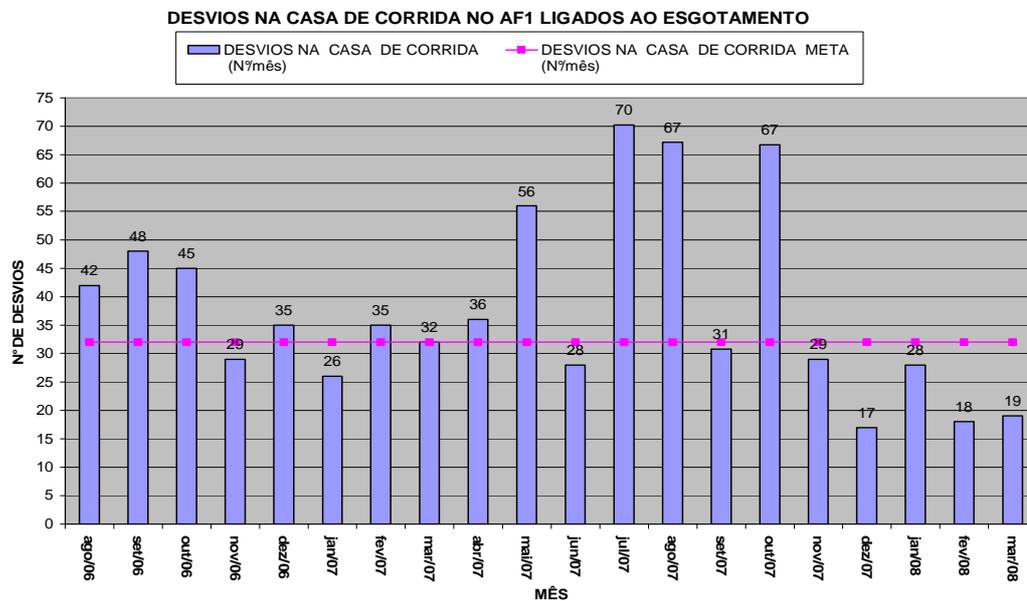
Foram criados no PROCOM (Computador de Processo do Alto-Forno 01), no banco de dados do nível 2, os itens: o controle da pressão de injeção inicial e final da massa no canhão e a letra do turno que ira fechar o furo de gusa, controle de temperatura da massa de tamponamento no canhão de injeção entre 60°C a 95°C. Na Figura 5 apresenta a melhora no controle da temperatura da massa de tamponamento nos canhões dos após implantação dos ventiladores.



Os resultados mostraram uma redução significativa dos valores de desvios da casa de corrida atingindo a meta proposta pelo estudo em nov/07. Estes resultados mostraram que somente a melhora/implantação destes três itens foram suficientes para atingir a meta do estudo, não se fazendo necessário analisar os outras itens. Os planos de manutenção da mecânica propiciaram uma melhoria no índice de disponibilidade dos equipamentos (canhões e perfuradores) das casas de corridas, conforme demonstra na Figura 6.

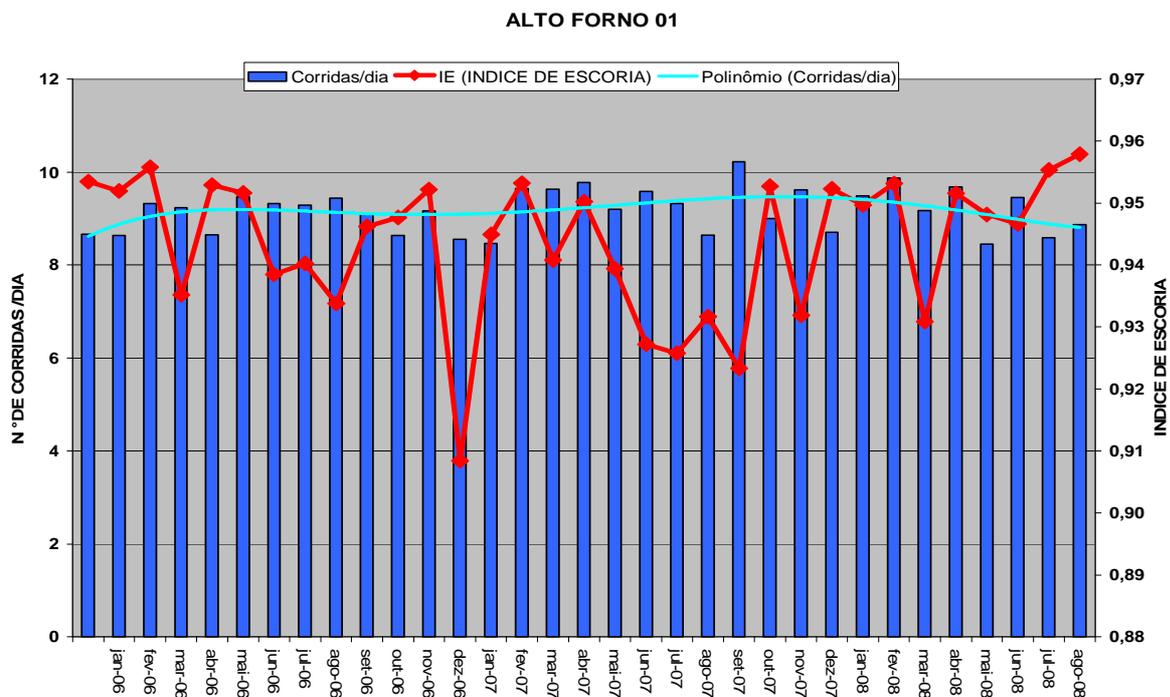


Verificou-se que o resultado alcançado pelas melhorias da massa de tamponamento (novo de fornecedor e ajuste da qualidade do 2º fornecedor), controle da temperatura da massa no canhão e plano de manutenção propiciou uma redução de 45,1% dos desvios da casa de corrida a partir de novembro de 2007, conforme demonstra na Figura 7.



**Figura 7** – Redução dos desvios de casa de corrida do Alto Forno 01.

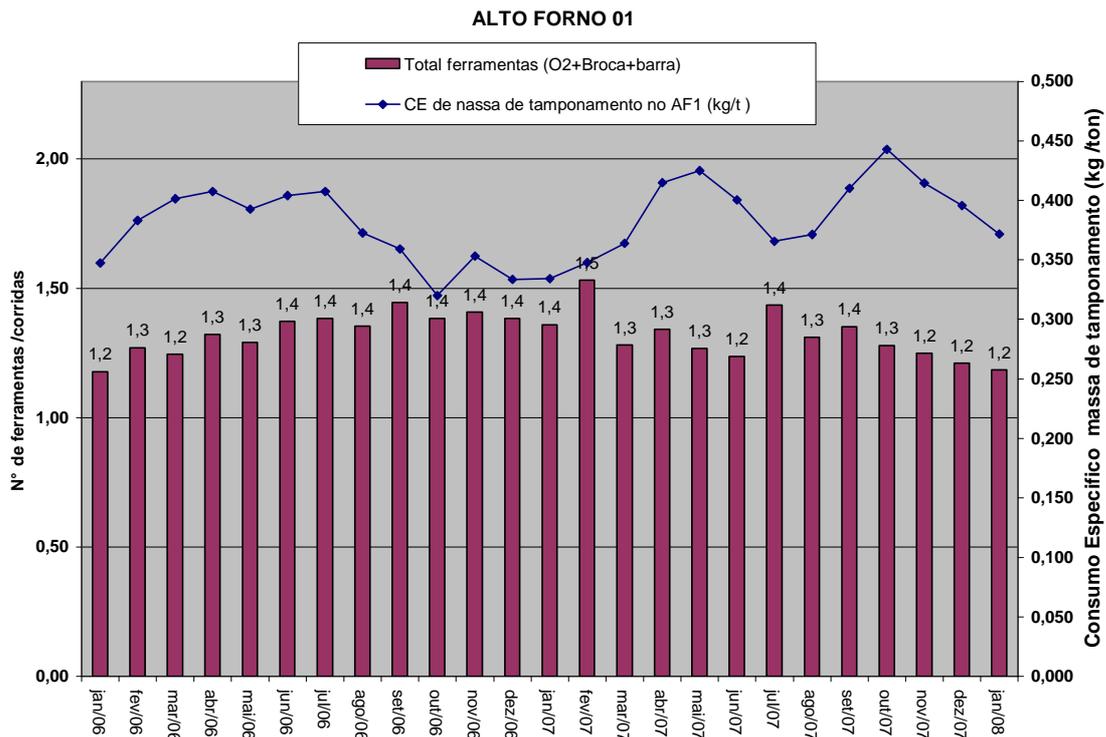
A redução destes desvios proporcionado com implantação das melhorias ,gerou uma redução do números de corridas /dia e um aumento do índice de escoria conforme demonstra na Figura 8.



**Figura 8** – Números de corridas /dia e índice de escoria do Alto Forno 01.

## 5 CONCLUSÃO

As metas foram alcançadas, resultando em maior conhecimento do sistema de esgotamento da casa de corrida do Alto-Forno 01. Houve redução dos desvios de casa de corrida ligados ao esgotamento de escoria e gusa. Os resultados que se seguiram, após novembro de 2007, também mostrou uma melhora na operação da casa de corrida do Alto-Forno 01 e como consequência possibilitou a redução de custo do gusa através da redução do consumo específico de Massa de tamponamento e ferramentas usadas na abertura dos furos de gusa, conforme demonstra na Figura 9.



**Figura 9** – Consumo de ferramentas e consumo específico de massa de tamponamento do Alto Forno 01.

A ferramenta seis sigma foi capaz de aumentar a capacidade crítica e analítica do grupo da AMT, e também, dos fornecedores de massa de refratário; Obtivemos melhorias significativas no esgotamento e desenvolvemos maior conhecimento técnico. A metodologia do seis sigma está sendo utilizada no dia-dia em diversos projetos para redução da variabilidade, estabilização da rotina, melhorias e avaliação de processos.

## REFERÊNCIAS

- 1 WERKEMA, C. Criando a cultura seis sigmas vol. 1, p.11–33, 2004
- 2 RUTHER, P *et al.*. Optimised casthouse operation at TKS –Realised improvements and future potentials. EUROPEAN COKE AND IRONMAKING CONGRESS, vol. 02, p. 1:5-1 a 1:5-1, 2005
- 3 CRUZ JUNIOR, R. Relatório interno de casa de corrida da AMT /IDG -SERRA - ES, p.01-08, 2006.