

# MELHORIA NO CONTROLE DE PERFIL DE DESGASTE REFRAATÁRIO NAS PANEAS DE AÇO NA V&M DO BRASIL<sup>1</sup>

Hudson Guerra Asth<sup>2</sup>  
Luiz Fernando da Silva<sup>3</sup>  
Geraldo Cruz<sup>4</sup>  
Geraldo Bastos<sup>5</sup>  
Leandro Almeida<sup>6</sup>

## Resumo

São apresentadas e avaliadas as influências das principais variáveis de processo que influenciam no perfil de desgaste refratário de painéis de aço em fim de campanha. Modificou-se o método de controle da campanha, eliminando o limite de número de corridas e adotando o tempo de permanência de aço na panela. A mudança metodológica partiu de um acompanhamento estatístico das principais variáveis que regem o desgaste refratário das painéis de aço. As variáveis que mostraram uma relação direta com o desgaste refratário foram: número de dias da panela de aço na campanha, número de corridas por dia, tempo de processo VD, %MgO na escória, basicidade binária da escória forno panela, tempo médio de Forno Panela ligado e quantidade média de fluorita adicionada por corrida. Através deste trabalho obteve-se uma melhoria no perfil de desgaste refratário reduzindo o número de ocorrências de queda de tijolos, lascamentos e trincas por choque térmico, aumentando a segurança operacional.

**Palavras-chave:** Desgaste refratário; Logística de painéis; Controle de processo.

## INCREASING THE REFRACTORIES WEARING PROFILE CONTROL ON THE STEEL LADLES AT THE V&M DO BRASIL

### Abstract

A significant improvement of the steel ladle performance was achieved by permanent statistical track of the major operational factors affecting the steel ladle performance at V&M do Brasil. The work based on the identifications and selection of the major metallurgical and operational variables responsible to refractory wear and failure and its permanent monitoring. This paper describe the major points in this development that resulted in the longer ladle life and kept the zero ladle failure the is above 7 years up to date.

**Key words:** Refractories wearing; Ladle's logistic; Process control.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 40º Seminário de Aciaria – Internacional, 24 a 27 de maio de 2009, São Paulo, SP, Brasil.*

<sup>2</sup> *Engº Metalurgista, Departamento de Metalurgia da Aciaria da V&M do Brasil S.A*

<sup>3</sup> *Engº Metalurgista, M.Sc. Gerencia de Qualidade e Pesquisa Siderúrgica da V&M do Brasil S.A*

<sup>4</sup> *Técnico metalúrgico, Departamento de Lingotamento Contínuo da Área Siderúrgica da V&M do BRASIL S.A*

<sup>5</sup> *Técnico metalúrgico, Coordenador Técnico de refratários da Magnesita S.A*

<sup>6</sup> *Engº Metalurgista, M.Sc. Departamento de Metalurgia da Aciaria da V&M do Brasil S.A*

# 1 INTRODUÇÃO

No atual mercado de produção de tubos sem costura, cada vez mais exigente em aços especiais a V&M do BRASIL fabrica produtos com alto valor agregado e propriedades físicas e mecânicas que exigem a utilização de refratários que trabalhem a altas temperaturas e condições agressivas para algumas escórias de refino secundário, além de garantir a segurança operacional e uma boa relação custo benefício na produção do aço.

Neste cenário, iniciou um trabalho de investigação dos principais fatores de processo e operacionais com relação direta sobre o desgaste refratário objetivando a contínua melhoria de performance das painéis de aço.

A aciaria da V&M do Brasil possui dez painéis de aço, trabalhando com 06 painéis no ciclo (cinco painéis na produção e uma painél reserva no gás), com capacidade de 75 toneladas e borda livre de 1.100 mm. As painéis possuem dois plugues para agitação do aço através do argônio, não possuindo agitação eletromagnética ou lança de injeção.

O revestimento de trabalho é a base de MgO-C em um total de 14 fiadas: sete na linha de metal e sete na linha de escória.

A vida média das painéis de aço é de 75 corridas na campanha.

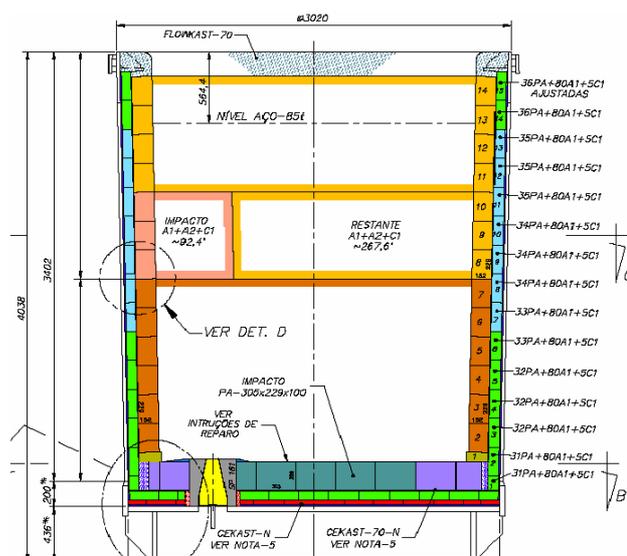


Figura 1 – Projeto de painél de aço da V&M do BRASIL

## 1.1 Objetivo

Identificar, compreender e avaliar os mecanismos de processo de desgaste refratário em painéis de aço, para melhor seleção das ações operacionais que reduzam o número de ocorrências de incidentes representados por lascamentos, quedas de tijolos, trincas e elevação do desgaste refratário com redução da vida das painéis.

## 1.2 Revisão Bibliográfica

Procedeu-se à revisão dos fundamentos e das técnicas relacionadas às propriedades, capacidades e limitações dos produtos refratários dos revestimentos

da panela e dos cuidados operacionais a fim de prolongar a vida do mesmo e a qualidade no uso das panelas de aço.

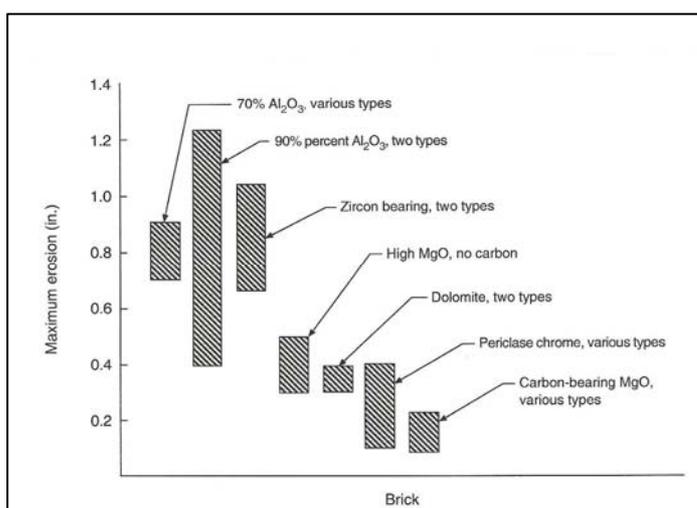
O refratarista deve-se conhecer os produtos refratários, os mecanismos de desgaste e os parâmetros de processo siderúrgicos com a finalidade de conduzir um projeto refratário que atenda as solicitações operacionais e/ou permita um desenvolvimento de novos produtos na direção correta.<sup>(1)</sup>

O sucesso do refratário depende do bom entendimento entre o metalurgista e o refratarista. A partir desta sinergia ter-se-á um processo ajustado e uma boa relação custo-benefício na performance refratária.

Um dos principais equipamentos que influenciam no desgaste de refratário de panelas de aço encontra-se na metalurgia secundária (forno panela, desgaseificador à vácuo e rinsagem). O Forno panela é o equipamento onde se concentra os fatores de processo responsáveis pelo bom desempenho do refratário. Aliar conceitos fundamentais de operação no forno panela e conhecimento dos principais parâmetros de processo são receitas para se obter um bom desempenho no perfil refratário no final de campanha.<sup>(2)</sup>

### 1.2.1 Matérias-primas dos tijolos MgO-C

A utilização de tijolos de MgO-C caracteriza-se pela alta resistência ao ataque da escória (Figura 2) associado a uma boa resistência ao choque térmico devido a presença do carbono.



**Figura 2** – Faixa de valores de erosão de escória para vários tipos de tijolos com várias escórias de panelas básicas.<sup>(3)</sup>

A presença do grafite determina as seguintes propriedades refratárias:

- inibe a penetração da escória na estrutura do tijolo devido à baixa molhabilidade entre a escória e a grafita; e
- minimiza a formação de trincas ocorridas por lascamento termomecânico (termoclase) devido à alta condutividade térmica e baixa expansão térmica.

A grafita é facilmente oxidada pelos óxidos presentes na escória, embora possua uma boa estabilidade química contra a escória.<sup>(3)</sup>

### 1.2.2 Refratários para uso em forno-panela

A utilização do Forno-Panela no fluxo de produção do aço aumenta a produtividade na aciaria e melhora a qualidade do aço produzido, obtendo-se níveis de qualidade no lingotamento contínuo antes não alcançados. O acerto de composição química via adição de ligas, injeção de gases inertes, processos de desoxidação, dessulfuração, e acerto de temperatura para o lingotamento contínuo têm resultado em um maior desgaste refratário nos tijolos de trabalho da panela de aço.<sup>(4)</sup> A justificativa para este desgaste ocorre devido ao maior tempo de permanência do metal líquido no interior das panelas a elevadas temperaturas, contribuindo para os ataques químicos e físicos.

### 1.2.3 Fatores de sucesso no desempenho de refratários

Refratários representam cerca de 20% dos custos de produção de uma aciaria. A busca constante de redução desses custos é obtida a partir de alguns princípios fundamentais, dentre eles destacam-se:

- Parâmetros de processo no forno panela:
  - basicidade de escória;
  - saturação de MgO na escória;
  - nível de oxidação da escória (%FeO+%MnO) provenientes da passagem de escória da refino primário;
  - avaliação da viscosidade de escória por famílias de aço;
  - tempo de forno panela ligado e tap-to-tap; e
  - delta de temperatura no forno panela.
- Parâmetros operacionais do Forno panela:
  - avaliação do volume de escória que podem causar espelhamento do arco voltaico e conseqüentemente superaquecimento da escória;
  - quantidade de argônio utilizado impedindo desgaste excessivo por abrasão e/ou erosão devido a vazões elevadas e evitar baixas vazões de forma a prevenir superaquecimento da escória; e
  - controle da quantidade de fluorita adicionada por corrida, prevenindo alta fluidez da escória, aumentando a molhabilidade do refratário através da redução de temperatura “*liquidus*” e viscosidade da mesma.
- Gerenciamento logístico de panelas de aço objetivando os seguintes itens:
  - menor número de dias na campanha;
  - maior número de corridas por dia na campanha;
  - uso de tampas refratárias; e
  - uso de pré-aquecedores e redução do número de panelas no ciclo sem afetar a produtividade da aciaria.

### 1.2.4 CPA (Controle de panelas da aciaria)

O CPA é um sistema de controle das panelas da aciaria da V&M do BRASIL. Este sistema permite o rastreamento das panelas no processo, monitorando toda a campanha e fornecendo informações como: encharque na corrida, número de corridas na campanha, temperaturas de trabalho, qualidades produzidas na campanha, tempo de alocação em cada equipamento dentre outras funcionalidades. O CPA é um sistema fundamental no monitoramento da logística das panelas de aço, possibilitando a avaliação da influência de parâmetros no desgaste refratário.



Figura 3 – Tela principal do CPA - Controle de painéis da aciaria da V&M do BRASIL

## 2 METODOLOGIA

Os esforços para atingir o estágio atual começaram no ano de 2006, através de um melhor conhecimento e controle das variáveis de processo que influenciam direto no desgaste refratário de painéis de aço. Formou-se uma equipe de trabalho entre a V&M do BRASIL e a empresa Magnesita S.A., a fim de definir qual a metodologia de trabalho a ser seguida.

### 2.1 Variabilidade do Tempo de Permanência de Aço na Campanha

O controle de campanha de panela de aço era realizado objetivando o número de 75 corridas até o ano de 2006. Os perfis de desgaste refratário no fim de campanha não eram homogêneos, pois cada panela possuía um tempo de permanência de aço variando de 8.200 minutos a 11.500 minutos por campanha. Devido a isso, decidiu-se mudar a forma de controle de logística de painéis de aço, eliminando o limite de número de corridas passando para minutos de permanência de aço na campanha, valor este controlado pelo software CPA e pelos controladores de logística da aciaria.

### 2.2 Avaliação de Variáveis de Processo

Estudou-se a influência de algumas variáveis e suas respectivas correlações com a campanha final da panela:

- temperatura média de vazamento do LD;
  - tempo médio de permanência de aço na panela;
  - número de corridas por dia na campanha;
  - número de dias na campanha;
  - basicidade binária do Forno Panela;
  - %MgO na escória do Forno Panela; e
  - % FeO + %MnO na escória do Forno Panela.

## 2.3 Avaliação do Tempo de Permanência do Aço por Corrida Durante a Campanha

Avaliou-se o tempo de cada corrida durante a campanha, a fim de evitar que uma mesma panela permaneça no ciclo com tempo de permanência de aço superior a 350 minutos numa mesma corrida. A influência do tempo excessivo de aço em uma mesma corrida diminui o número de corridas no final de campanha, pois a campanha da panela de aço, com a nova metodologia, está limitada a um tempo máximo em minutos. Outra influência negativa é o longo tempo de contato entre a escória e o refratário em uma mesma corrida.

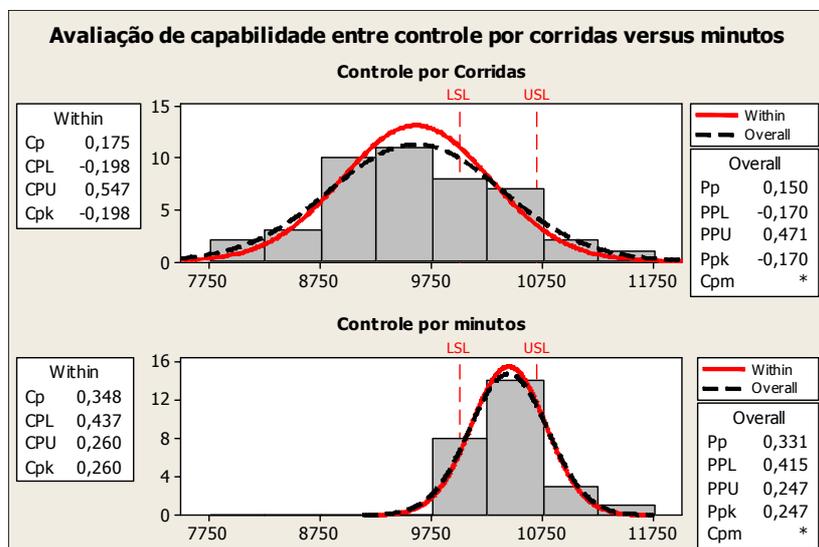
## 2.4 Avaliação de Adição de Fluorita e Tempo de Forno Panela Ligado

Foram monitorados e avaliados o tempo de forno panela ligado e a quantidade de adição de fluorita por corrida para verificação da influência no perfil de desgaste refratário.

## 3 RESULTADOS

### 3.1 Variabilidade do Número de Minutos de Aço na Campanha

Avaliou-se a influência dos números em minutos de aço ao invés de número de corridas para controle da campanha da panela. Percebeu-se que para o mesmo número de corridas havia muita dispersão no número de minutos de aço na panela, conforme o histograma abaixo:



**Figura 3** – Avaliação da capacidade para o método de controle por corridas versus método de controle por minutos.

Foram coletados valores de minutos de aço para o número de 75 a 77 corridas na campanha para o ano de 2006, cujo controle era realizado por corrida versus o ano de 2007 onde o controle era realizado por minutos de aço na campanha.

### 3.2 Avaliação de Variáveis de Processo

Realizou-se uma avaliação estatística das principais variáveis de processo correlacionando com a campanha de panela de aço.

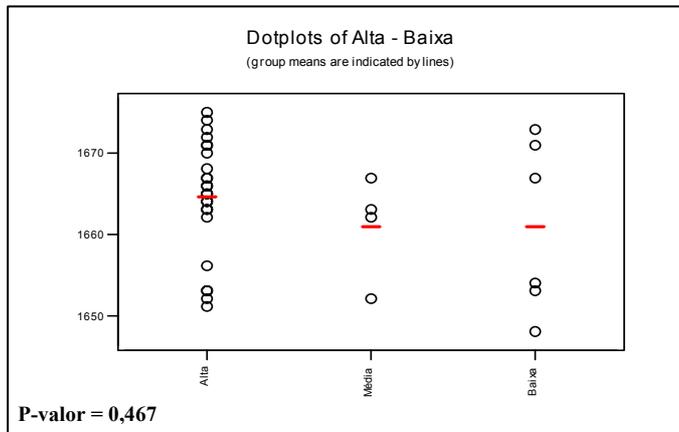


Figura 4 – Temperatura média de vazamento

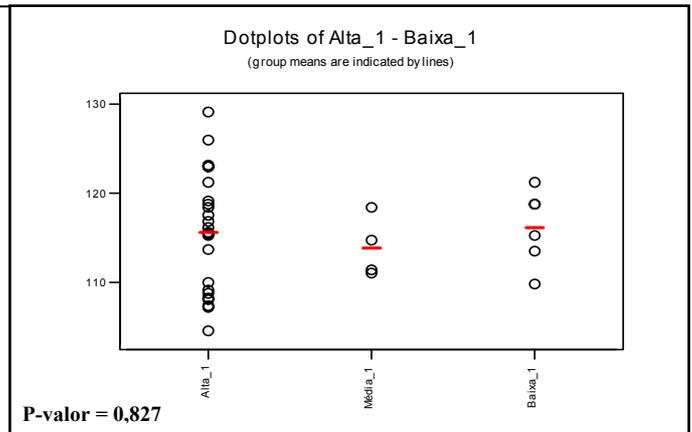


Figura 5 – Tempo médio de aço na panela

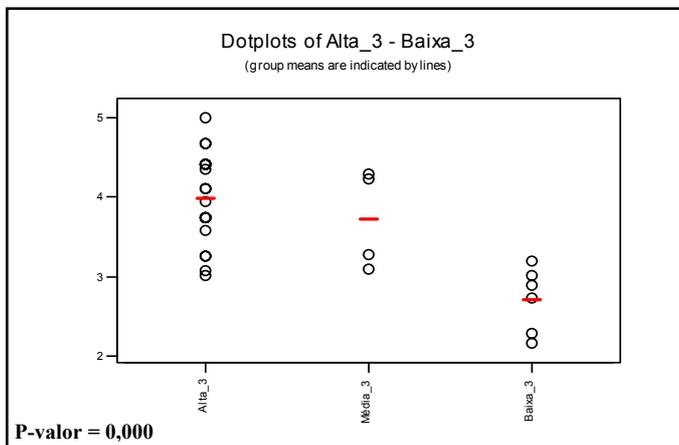


Figura 6 – Corridas média por dia na panela

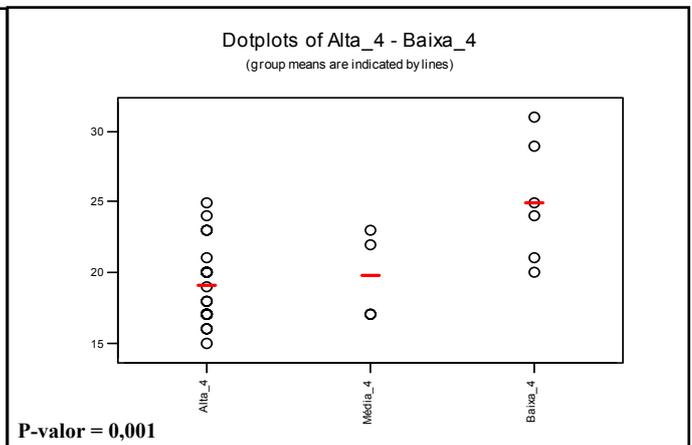


Figura 7 – Dias em campanha de cada panela

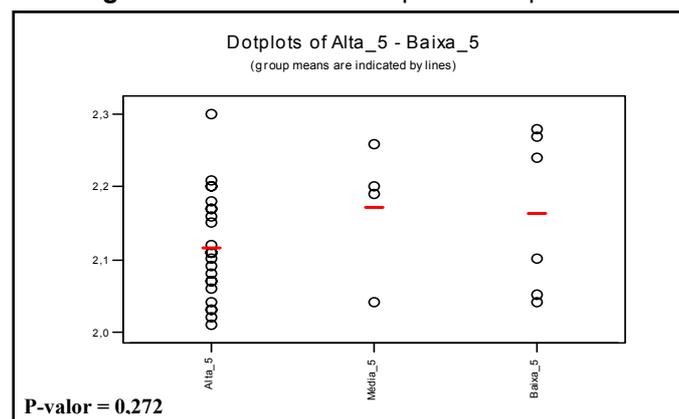


Figura 8 – Basicidade binária no forno panela

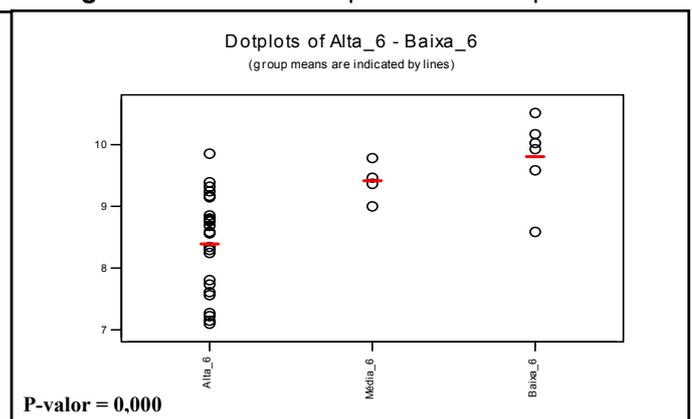
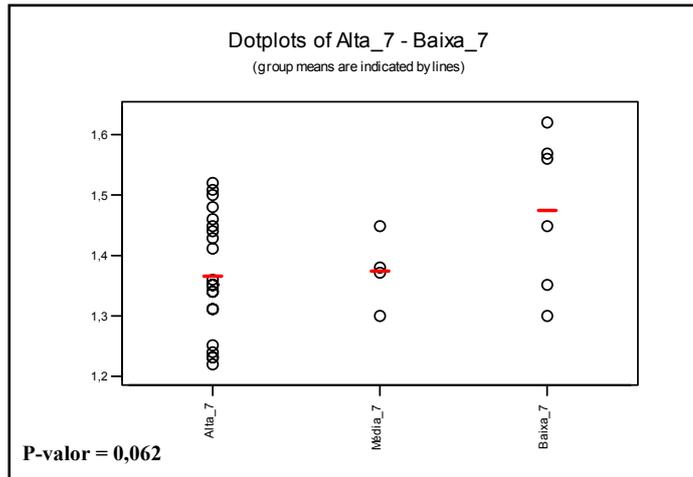


Figura 9 – %MgO no forno panela



**Figura 10** – %FeO+%MnO na escória do forno panela

De acordo com o resultado estatístico, P-valor < 0,05, as variáveis mais influentes na campanha da panela de aço são:

- corridas média por dia na campanha;
- número de dias na campanha; e
- %MgO na escória de Forno Panela.

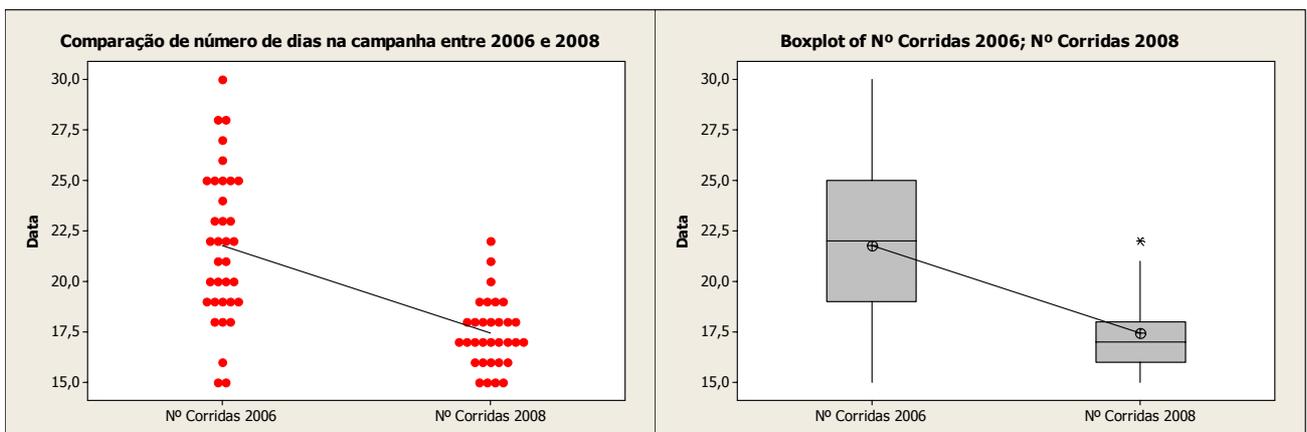
As duas primeiras variáveis acima estão ligadas com a logística de painelas de aço na aciaria e a última relacionada com uma escória com baixa saturação de MgO.

### 3.2.1 Gerência da logística de painelas de aço

Realizou-se uma mudança na logística de painelas de aço, objetivando os valores encontrados nos testes estatísticos a fim de otimizar a campanha.

- terminar a campanha de panela de aço em até 20 dias, objetivando 15 dias na campanha; e
- objetivar mínimo de 4,0 corridas por dia em cada panela;

As Figuras 11 e 12 mostram o resultado da mudança do controle gerencial de logística nas painelas de aço.



**Figura 11** – Dotplot de número de dias na campanha

**Figura 12** – Boxplot de número de corridas na campanha

### 3.2.2 %MgO na escória

Para este item iniciou-se um estudo para avaliação da saturação de MgO nas escórias do refino secundário através da termodinâmica computacional através do software Thermocalc. A V&M está iniciando uma dissertação de mestrado para melhor compreensão e avaliação dos principais parâmetros da escória do refino secundário em função de cada família de aço.

### 3.3 Avaliação do Tempo de Corrida na Campanha

Após verificação de ocorrências com tempo excessivo de permanência de aço (>350 minutos/corrida), trabalhou-se na necessidade de repanelamento destas corridas. Através da padronização e treinamento da operação, verificou-se uma melhoria expressiva no tempo de alocação máximo de cada corrida (Figura 12).

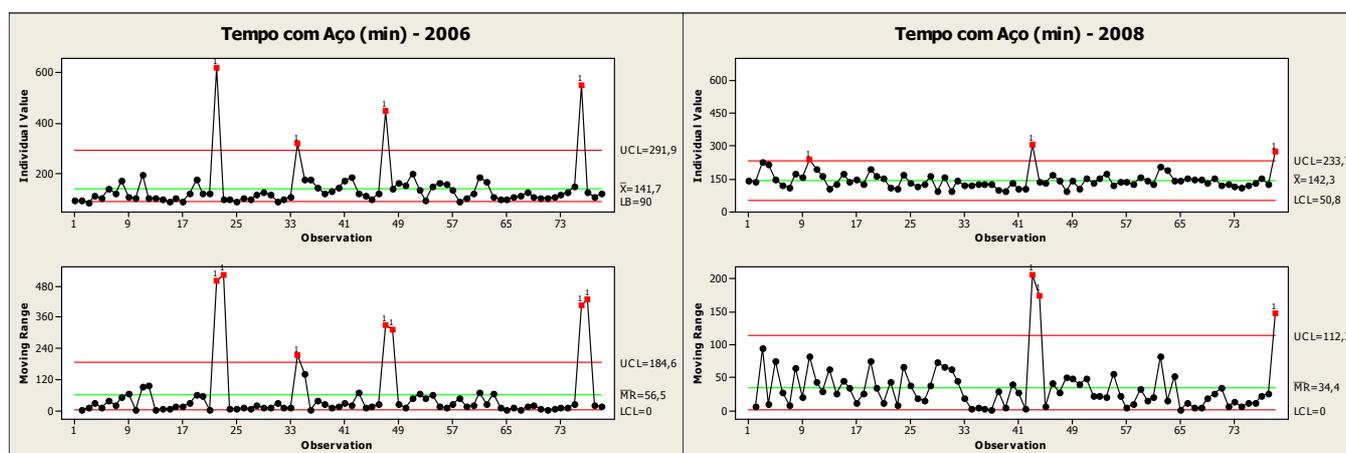


Figura 11 – Carta de controle de tempo de aço (min) em 2006

Figura 12 – Carta de controle de tempo de aço (min) em 2008

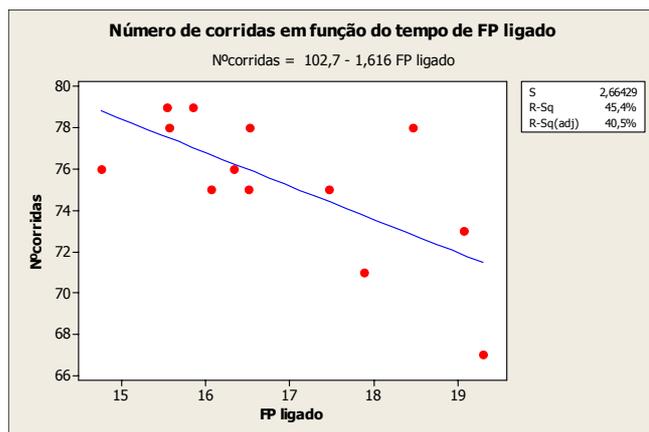
### 3.4 Avaliação de Adição de Fluorita e Tempo de Forno Panela Ligado

#### 3.4.1 Quantidade de fluorita

Atualmente a adição de fluorita é limitada a 40 Kg por corrida (0,53Kg/ton). Através do perfil de desgaste final de refratário nas panelas de aço percebeu-se que esta adição não é prejudicial para a campanha do revestimento de trabalho. Atualmente objetiva-se trabalhar com adições de 20 Kg em média quando necessário.

#### 3.4.2 Tempo forno panela ligado

Através de correlações do número de corridas na campanha em função do tempo de forno panela ligado (Figura 13), notou-se que existe uma forte tendência entre essas variáveis. Quanto maior o tempo médio de forno panela ligado menor a campanha da panela de aço.



**Figura 13** – Análise de regressão entre número de corridas versus tempo de forno panela ligado

## 4 DISCUSSÃO

Além das avaliações mostradas nos itens anteriores, alguns pontos de controle na aciaria são essenciais para garantir uma segurança e boa performance na utilização do refratário de painéis de aço.

### 4.1 Influência Do Fluxo VD no Desgaste Refratário

O número de corridas VD na campanha tem uma relação direta com o perfil de desgaste refratário não só pela alta agitação de argônio no interior da panela de aço, mas principalmente pelas altas temperaturas praticadas no Forno Panela. Por estes fatores, o padrão atual de VD na campanha contempla uma redução do tempo de aço em minutos de acordo com o aumento de VD na campanha acima de 15 corridas, conforme o padrão de painéis de aço.

### 4.2 Tara Final de Painel de Aço

Percebeu-se que várias painéis que tiveram problemas de desgaste refratário localizado durante a sua campanha, apresentavam baixa tara de painel de aço. Portanto, definiu-se um limite mínimo de trabalho de tara de painel de aço na campanha, pois o alto desgaste refratário será refletido na tara final menor do que a média das campanhas de painéis que obtiveram um bom perfil de desgaste refratário.

### 4.3 Mudança de Cenário de Produção e Encharque das Painéis

Verificou-se que em cenários de baixa produção, o perfil de desgaste refratário das painéis é afetado devido ao choque térmico sofrido pelo refratário e a maior presença das painéis de aço no gás. Para estes casos, objetiva-se manter a logística original de painel mantendo o número de dias objetivado na campanha (15 dias) com a redução do número de painéis no ciclo.

### 4.4 Investimentos na Aciaria

Alguns investimentos na aciaria trouxeram ganhos indiretos para um melhor perfil de desgaste refratário no fim de campanha de painéis de aço, que não é

escopo deste trabalho, mas vale a pena registrar: repontencialização do forno panela e utilização do detector de escória no vazamento do convertedor LD.

#### 4.5 Redução do Número de Ocorrências nos Refratários de Panela de Aço

A Figura 14 mostra o resultado do controle de processo e mudança na forma de trabalho realizado com os refratários de painelas de aço na aciaria da V&M do BRASIL. O gráfico mostra a redução do número de ocorrências de lascamentos de tijolos, desgaste acentuado de revestimento de trabalho e queda de tijolos entre os anos de 2006 e 2008.

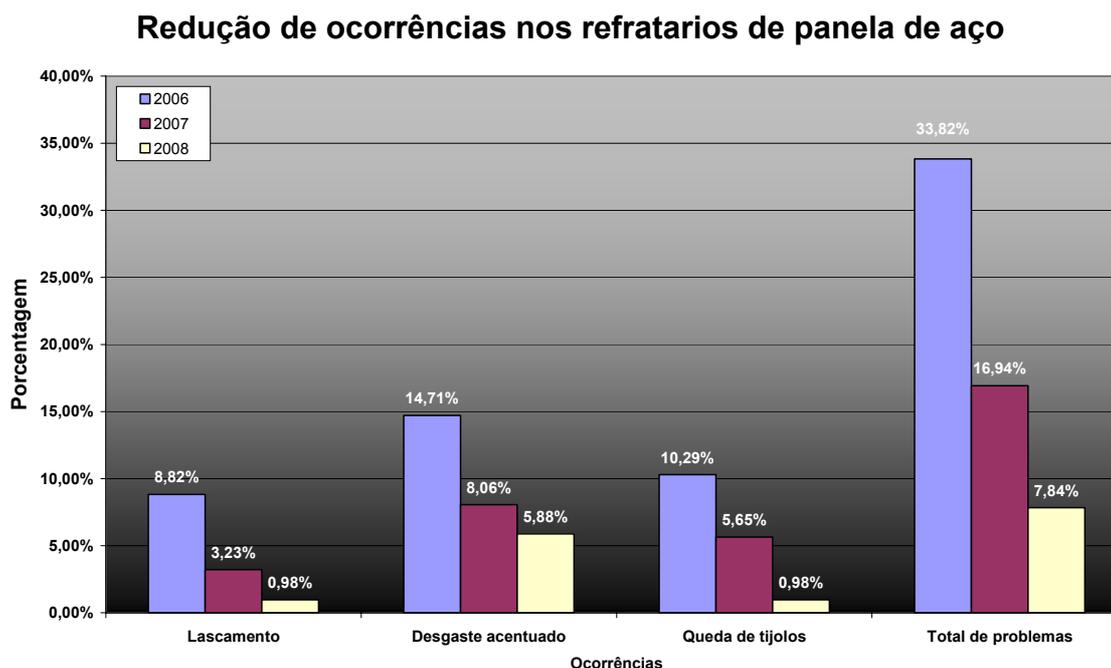


Figura 14 – Redução de ocorrências de problemas no desgaste refratário de painelas de aço

## 5 CONCLUSÕES

O presente trabalho mostrou a importância do controle estatístico de processo e gerenciamento técnico no refino secundário e a importância da logística de painelas de aço a fim de elevar a performance global das painelas, reduzindo os choques térmicos durante a sua campanha otimizando assim a vida de painelas de aço, com segurança e boa relação custo benefício para ambas as partes envolvidas no desenvolvimento deste trabalho.

A partir de um conhecimento das melhores faixas objetivadas foi possível conseguir um melhor perfil de desgaste refratário no fim de campanha dentro dos limites de segurança estabelecido para o refratário.

Conclui-se que não existe um padrão perfeito para refratários de painelas de aço, pois o mesmo deve-se adaptar aos cenários de produção a cada momento, principalmente diante de um cenário de baixa produção, onde os cuidados com o refratário devem ser redobrados a fim de obter segurança operacional na utilização dos mesmos.

Assim o conhecimento e acompanhamento, corrida a corrida, das variáveis significativas das causas da perda de performance das painelas de aço, conseguida também com a excelente sinergia entre aciaristas e refrataristas, gerenciadas pelo

método introduzido resultaram em uma maior estabilidade no perfil de desgaste refratário para painéis de aço.

### **Agradecimentos**

Agradecimento a V&M do BRASIL que permitiu a execução do trabalho, bem como toda a estrutura de processo para realização do mesmo;

À empresa Magnesita S.A., representada pelos senhores Luiz Fernando e Geraldo bastos que muito contribuíram para o sucesso deste trabalho.

Ao gerente da aciaria, Sr.Fabrcio Batista que apoiou o trabalho e disponibilizou toda estrutura necessária para a execução do mesmo.

Aos operadores da Ala de corrida, Forno panela e controladores de logística que nos auxiliaram diante das implementações das mudanças necessárias durante este trabalho.

Ao Sr.Geraldo Cruz que através de sua experiência permitiu o aprendizado da rotina e respeito ao refratário.

### **REFERÊNCIAS**

- 1 SILVA, L.F. *Estudo da melhoria de performance do refratário da panela de aço da V&M do Brasil*. Belo Horizonte: UFMG, 2005.
- 2 PRETORIUS, E. *Slags and the relationship with the refractory life and steel production*. Santos: LWB Refractories, 2002.
- 3 HUBBLE, D.H. *Steel plant refractories*. Pittsburgh PA: AISE Steel Foundation, 1998. Cap 3, P. 159-226.
- 4 GALLO, M. *Refratários e insumos para lingotamento contínuo*. São Paulo: ABM, 2006. 314p