



# ESTABILIDADE DO SISTEMA DE AR SOPRADO DOS ALTOS FORNOS<sup>1</sup>

*Pedro Coutinho da Silveira Sousa<sup>2</sup>  
Ezedequias Gomes Fernandes<sup>3</sup>  
Márcio Torres dos Santos<sup>4</sup>  
Márcio José Mariano da Silva<sup>5</sup>*

## Resumo

No mundo globalizado a cada dia busca-se cada vez mais a redução de custo, através da estabilidade operacional. Os tubos retos dos altos fornos, que tem como função transferir o ar quente para o interior do mesmo para fusão da carga, são uns destes pilares para garantir o sopro de ar quente continuado para efetivação da produção e obter-se índices operacionais cada vez mais competitivos. Porém paradas de emergências nos altos fornos da CSN vinham ocorrendo numa escala substancial, comprometendo a estabilidade operacional do mesmo, bem como a segurança do pessoal, devido aos freqüentes rompimentos de tubos retos, que apresentavam pontos quentes em escala crescente. Em conseqüência disso tudo: onerava-se o custo de manutenção deste sistema e o tornava também como gargalo para a subida da temperatura do ar soprado. Este trabalho tem como objetivo a eliminação de todos os pontos quentes dos tubos retos dos altos fornos 2 e 3 e como conseqüência assegurar a previsibilidade operacional dos mesmos. Para a solução deste problema utilizou-se a metodologia do MSP (Método de Solução de Problemas).

**Palavras-chave:** Altos fornos; Tubo reto; Ar soprado.

## BLOW AIR SYSTEM STABILITY FROM BLAST FURNACES

### Abstract

Nowadays in a globalized world the major focus is cost down thru operational stability. The straight tubes from blast furnaces which have as main function the transference of the hot air for inside of the same straight tubes, in order to have the charge fusion, which are the most important pillars to guarantee the continuity of hot air blow for production effectivity and also to grab operational indexes highly competitives. However Blast Furnaces Emergency Break-out were occurring in substantial basis, causing an operational stability impact, as well the employees safety in a higher risk, due to the very often straight tubes ruptures, which demonstrated hot spots in an ascending level. Moreover: the maintenance cost of this particular system was highly affected and also became it as the pipeline to the temperature of the blown air. This study has as major target reach the elimination of all existing hot spots of the straight tubes from Blast Furnaces number 2 and 3, and thru this process to assure their operational pre visibility.

**Key words:** Blast furnace; Straight tube; Blown air.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 65º Congresso Anual da ABM, 26 a 30 de julho de 2010, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.*

<sup>2</sup> *Gerente de Refratários, Companhia Siderúrgica Nacional - CSN.*

<sup>3</sup> *Engenheiro Senior de Manutenção Refratária, Companhia Siderúrgica nacional – CSN.*

<sup>4</sup> *Técnico de Manutenção em Altos-Fornos, Companhia Siderúrgica nacional – CSN.*

<sup>5</sup> *Engenheiro de Produção de Altos-Fornos, Companhia Siderúrgica nacional – CSN.*

## 1 INTRODUÇÃO

Os tubos retos dos Alto fornos 2 e 3, não estavam contendo as solicitações devido as flutuações de altas temperaturas no sistema mecânicos dos mesmos, pois vinham surgindo inúmeros pontos quentes, ou seja, temperatura elevada na carcaça, que ocorriam subitamente. Isto dificultava sua identificação e refrigeração em tempo hábil, o que culminava em arrombamentos. Estas ocorrências desestabilizavam a operação dos altos fornos, pois o mesmo era parado em emergência para reparação do incidente. Além da perda de produção havia um alto risco de acidente com pessoal, devido a condição insegura (ser atingido por ar quente – temperatura na ordem de 1.000°C). O trabalho aborda o que foi feito para reverter esta situação.

## 2 OBJETIVO

Obter previsibilidade operacional do conjunto de ar soprado dos altos fornos, eliminando os riscos casuais do rompimento deste sistema; que expõe pessoas a acidentes gravíssimos. Em consequência, cessar todas as perdas de produções oriundas destas instabilidades.

## 3 DESENVOLVIMENTO

### 3.1 Identificação do Problema

#### 3.1.1 Escolha do problema

Elevado índice de ocorrência de acidente no conjunto de tubos retos.

#### 3.1.2 Histórico do problema

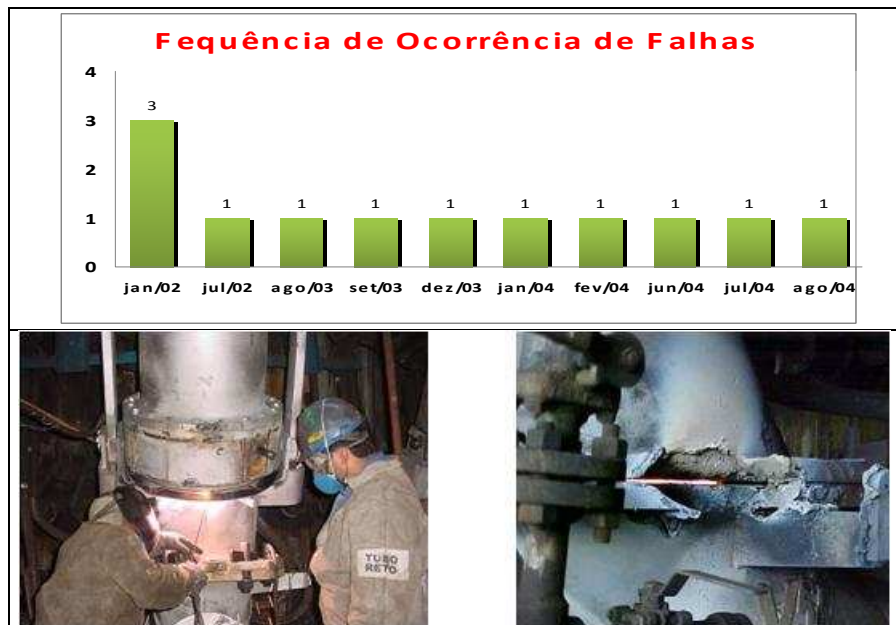
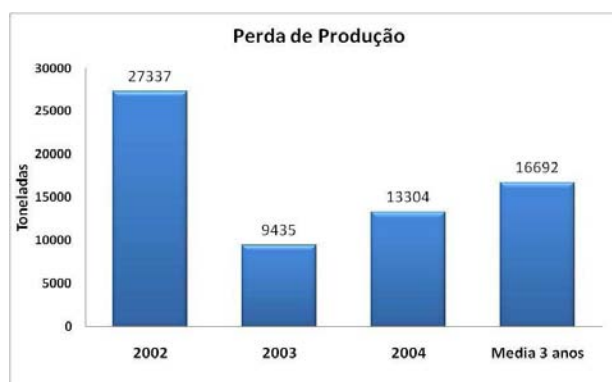


Figura 1 – Histórico das ocorrências das paradas e acidentes ocorridos.

### 3.1.3 Perdas atuais e ganhos viáveis

**Tabela 1 – Histórico das ocorrências das paradas**

Data	Ocorrência
Janeiro 2002	Parada de Alto Forno devido a ocorrências de ponto quente em “tubo reto”.
Julho 2002	
Agosto 2003	
Setembro 2003	
Janeiro 2004	
Fevereiro 2004	
Junho 2004	
Julho 2004	
Agosto 2004	



**Figura 2 – Perda de produção.**



**Figura 3 – Perda de receita (base placas de aço).**

Além deste ganho viável por lucro cessante tem-se:

- eliminação dos riscos de acidentes com pessoal e equipamentos; e
- eliminação da fonte de poluição sonora superior a 100 decibéis no piso das ventaneiras (ar comprimido utilizado para refrigerar o sistema de ar soprado).



### 3.2 Observação

#### 3.2.1 Descoberta das características do problema

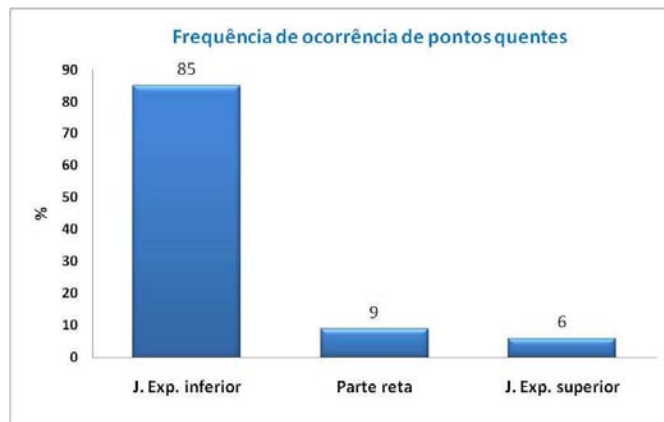


Figura 4 – Frequência da ocorrência de ponto quente.

#### 3.2.2 Descoberta das características do problema – Consulta a fornecedores

Prezados Senhores,

Após análise das informações recebidas, reiteramos a nossa posição manifestada na reunião dos dias 14 e 15/01/2003 e cujos principais tópicos estão relacionados na ata da referida reunião.

No nosso entendimento é absolutamente necessário que o porta-vento seja um elemento de ligação o mais flexível possível, que possa absorver todos os movimentos relativos entre o anel de vento e o alto forno. Partindo desta premissa, o fornecedor desenvolveu e patenteou o **porta-vento a cardan**, tendo até o presente já fabricado e instalado mais de 3000 unidades do mesmo.

Por questões de princípios e também técnicas não vemos possibilidades de apresentar nenhuma proposta para modificação do equipamento existente.

Caso seja do interesse da CSN, poderemos sim, apresentar proposta para fornecimento de novas peças.

Figura 5 – Laudo de um consultor contratado pela CSN.

**A junta inferior, principalmente, não permite movimento angular em todas as direções, não funcionando como a junta universal, ela só permite este movimento no eixo de porta vento (fluxo). Além do mais as juntas permitem movimentos lineares relativos tanto na vertical como na horizontal, entre a parte côncava e convexa da rótula do refratário. Estes movimentos são extremamente indesejáveis para o sistema, pois provocam o aparecimento de folgas que permitem a passagem de ar quente em direção ao fole, o que pode provocar o aparecimento de pontos quentes. Estes movimentos lineares podem também, eventualmente, provocar o travamento da rótula.**

*Na nossa opinião é praticamente impossível corrigir todos os problemas apontados nas peças existentes pelo fato de serem, na sua maioria, originados na concepção do projeto. Para solução do problema é necessário fazer a substituição das partes retas dos porta ventos atuais por outros do tipo cardans, capazes de absorver os movimentos indesejáveis tanto do forno como do anel de vento.*

Figura 6 – Laudo de um fornecedor de sistema de porta vento.



### 3.2.3 Descoberta das característica do problema – acompanhando desmontagem do tubo reto para reparo



Figura 7 – Situação dos esféricos ao sair de operação.

### 3.2.4 Cronograma de referência

Item	Fases	2003			2004			2005				2006					
		Out	Nov	Dez	Jan	Abr	Jul	Out	Jan	Abr	Jul	Out	Jan	Abr	Jul	Out	
1	Análise	█	█	█	█												
2	Plano de Ação					█	█										
3	Ação						█	█	█	█							
4	Verificação							█	█	█	█	█	█				
5	Padronização													█	█		
6	Conclusão																█

Figura 8 – Cronograma de referência.

### 3.2.5 Orçamento estimado

**Valor estimado = R\$ 850.000,00**

### 3.3 Análise

#### 3.3.1 Definição das causas influentes

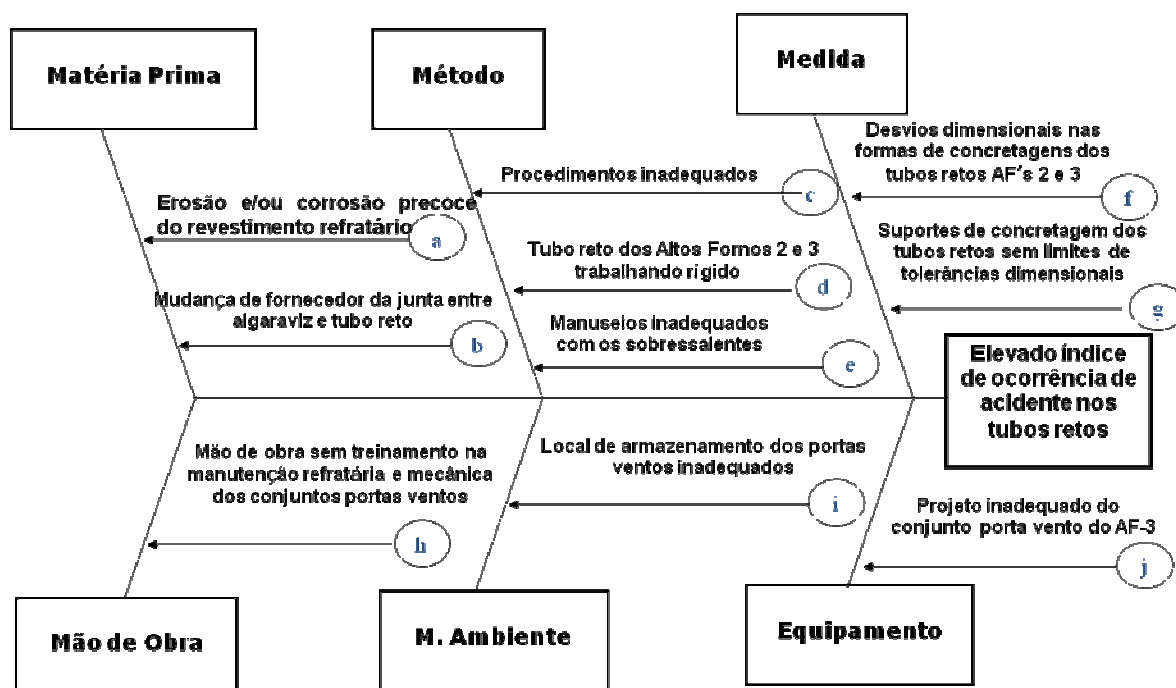


Figura 9 – Diagrama de causa e efeito.

#### 3.3.4 Escolha das causas mais prováveis

Tabela 2 – Definição da causas mais prováveis

Item	Causa Influyente	Conclusão	Motivo
a	Erosão e/ou corrosão precoce do revestimento refratário	Provável	A erosão e/ou corrosão precoce do refratário propicia o surgimento de pontos quentes.
b	Junta entre algaraviz e tubo reto do alto forno 3, piorou a qualidade após troca de fornecedor	Provável	Se não houver uma boa vedação entre as partes, poderá haver vazamento de ar quente, com conseqüente pontos quentes.
c	Procedimento mecânico e refratário inadequado para recuperação dos conjuntos portas vento	Provável	Procedimentos de execução in adequados compromete a qualidade dos serviços..
d	Tubo reto do Alto Forno 3 trabalhando rígido	Provável	Tubos retos trabalhando rígido, ou seja, cardans e rótulas inoperantes propicia surgimento de pontos quentes.
e	Manuseios inadequados com os sobressalentes	Pouco Provável	Foi acompanhado este manuseio e não se percebeu nenhuma coisa alarmante
f	Desvios dimensionais nas formas de concretagens dos tubos retos AF's 2 e 3	Provável	A folga de projeto na junta de expansão do tubo reto é de "6 mm" qualquer desvio no dimensional da forma poderá impedir a dilatação do sistema.



g	Suportes de concretagem dos tubos retos sem limites de tolerâncias dimensionais	Provável	A falta de limite de tolerância, o dimensional da junta de expansão fica comprometido.
h	Mão de obra sem treinamento na manutenção refratária e mecânica dos conjuntos portas ventos	Pouco Provável	O serviço era realizado de acordo com o padrão existente, o padrão que era inadequado
i	Local de armazenamento dos porta ventos inadequados	Pouco Provável	Já houve caso de explosão do refratário do algaraviz em decorrência de umidade no refratário do mesmo, porém um caso isolado e subitamente.
j	Projeto inadequado do conjunto porta vento do AF-3	Pouco Provável	Este tipo de projeto foi instalado em inúmeras outras siderúrgicas com sucesso

### 3.3.5 Verificação das hipóteses

- *Primeira hipótese* - Observou-se que todos os algaravizes e tubos retos retirados por pontos quentes dos altos fornos 2 e 3 estavam com uma degradação precoce do revestimento.  
*Causa:* Projeto refratário inadequado.

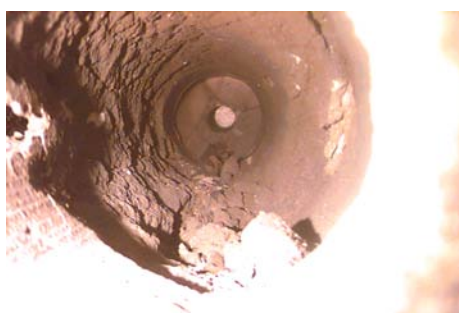


Figura 10 - Revestimento Algaraviz.



Figura 11 - Revestimento tubo reto.

- *Segunda hipótese* – Observou-se várias ocorrências de vazamento em juntas, devido à má qualidade das juntas utilizadas.  
*Causa:* Houve troca de fornecedor, onde as juntas do novo fornecedor não atendia as especificações técnicas requeridas.
- *Terceira e quarta hipóteses* – Os dois sistemas de tubos retos tanto do Alto Forno 2 quanto o do Alto Forno 3, estavam inoperantes (sistema cardan – AF2 e sistema de rótulas – AF3). Foi necessário efetuar a revisão dos sistemas

cardans de todos os tubos retos, para fazer seu destravamento. Foi necessário também revisar o sistema de rotulas dos tubos retos do Alto Forno 3 pois estavam também travados. Os tirantes usados para transporte dos tubos retos do Alto Forno 3 não estavam sendo removidos quando os mesmos eram montados no Alto Forno

*Causa:* Não havia plano para manutenção refratária/mecânica. Os procedimentos não eram compatíveis com a necessidade do serviço, pois não existiam parâmetros nem de refratário nem de mecânica, nos padrões de concretagens.

- *Quinta Hipótese* – As fôrmas de concretagem do tubo reto dos Altos Fornos 2 e 3 não tinham uma medida padrão, apresentavam uma variação dimensional superior a medida da junta de dilatação do mesmo. Confeccionou um gabarito para checar as dimensões destas formas de isopor, e constatou-se que mais de 60% delas estavam fora das medidas dimensionais.

*Causa:* Falta de formas que dessem confiabilidade, com relação a variação dimensional.



**Figura 12** - Fôrma de Isopor Junta de Expansão Tubo Reto AF # 3.

- *Sexta Hipótese* – A concretagem dos tubos retos era realizada com a forma apoiada no piso, que era irregular (Figura 13). Para comprovar essa anomalia utilizou-se uma forma de isopor já gabaritada, encaixando-a no suporte de concretagem, comprovou-se que as medidas estavam em desacordo com a de projeto.

*Causa:* Falta de suportes próprios para as formas de concretagem



**Figura 13** - Suporte para Formas de Concretagem apoiada no próprio piso.



### 3.3.6 Análise das causas mais prováveis (verificação das hipóteses)

Tabela 3 – Verificação das causas mais prováveis

Hipóteses	Resultado do teste	Julgamento
1ª) Projeto refratário inadequado	Foi observado em todos os algaravizes e tubos retos substituídos, uma degradação precoce do revestimento do mesmo.	Hipótese confirmada, com os tubos retos e algaraviz em operação durante inspeção em paradas de emergências dos Altos Fornos.
2ª) Junta entre algaraviz e tubo reto do alto forno 3, piorou a qualidade após troca de fornecedor	Quando da instalação destas juntas do novo fornecedor, aumentou os vazamentos entre o flange o tubo reto e algaraviz..	Hipótese confirmada, houve casos de vazamentos e arrombamentos e a junta que estava instalada nesta posição era a do novo fornecedor.
3ª e 4ª) Falta de padrões das atividades de manutenções para recuperação dos conjuntos portas ventos	Foi observado a falta de padrão, detalhado dos reparos mecânicos e refratários.	Hipótese confirmada, a contratada não tinha padrão detalhado então algumas atividades não eram checadas, como exemplo o acionamento das rótulas e cardans dos tubos retos, a regulagem para concretagem .
5ª) Falta de formas metálicas com medidas definidas para eliminar desvios	Verificou-se que 60% das formas de isopor vinham com problemas dimensionais.	Hipótese confirmada com a confecção de um gabarito: o desvio era superior a junta de dilatação do tubo reto.
6ª) Falta de suporte próprio para a forma de concretagem	Os suportes existentes eram todos empenados e sua base era o próprio piso da plataforma de concretagem	Hipótese confirmada efetuou um teste dimensional comprovando que o suporte está totalmente fora das medidas de projeto.

### 3.3.7 Confirmação das causas mais prováveis

Segue abaixo as causas fundamentais encontradas:

- projeto refratário inadequado;
- junta de algaraviz inadequada;
- falta de padrão detalhado das atividades mecânicas e refratárias;
- formas de concretagens fora das dimensionais de projeto.

### 3.3.8 Estratégia de ação

Como ficou definido como causa fundamental a falta de padrão e procedimentos na recuperação dos conjuntos portas ventos, foi necessário esboçar uma estratégia para garantir a qualidade da recuperação dos mesmos, até solução definitiva.



**Tabela 4 – Estratégia da ação**

Ação proposta	Há garantia contra reincidência	Ação sobre efeito/causa	Haverá efeito colateral	Implantação rápida ou demorada	Ordem de grandeza do custo da implantação
Confeccionar suportes para as formas de concretagens	Sim, se as medidas das fôrmas de isopor estiverem dentro do projeto	Causa	Não	Rápida	Insignificante
Fazer gabaritos para aferição das dimensionais da forma de isopor, dos tubos retos dos Altos Fornos 2 e 3.	Sim, as fôrmas que apresentarem não conformidade serão descartadas	Causa	Não	Rápida	Insignificante
Efetuar acompanhamento por parte do responsável do projeto de todas as fases de recuperação dos portas ventos até que os padrões não tenham sido estabelecidos	Sim, porque todos os conjuntos serão concretados após aferição das dimensionais das formas e de regulagens para concretagem	Causa	Não	Rápida	Insignificante

### 3.3.9 Plano de ação

**Tabela 5 – Plano de ação**

O que ?	Quem ?	Quando?	Onde ?	Porque ?	Como ?
Efetuar estudo de transferência de calor para definir concreto denso	Ezedequias Saint-Gobain	Até 20/01/04	GEF <b>OK</b>	Definição do concreto para efetuar teste industrial	Selecionando os concretos densos aplicados em outras usinas e avaliando sua transferência de calor
Fazer teste industrial em 5 conjuntos de algaravizes e tubos reto	Ezedequias	Aplicar na manutenção preventiva de 12/01/04	Galga <b>OK</b>	Avaliar o projeto	Instalando os 5 conjuntos de tubo reto
Mudar o projeto do revestimento refratário de isolante para denso	Ezedequias		Porta ventos dos Altos Fornos 2 e 3. <b>OK</b>	Assegurar um melhor desempenho do sistema de sopro	Efetuando estudo de transferência de calor para a especificação do projeto do isolamento e revestimento refratário
Definir procedimentos para manutenção refratária e mecânica	Ezedequias Caramez Márcio		Portas ventos dos Altos Fornos 2 e 3 <b>OK</b>	Para apresentar aos executantes	Usar parâmetros de projetos para ajustes e check list de pré-concretagem
Treinar pessoal nos procedimentos definidos	Ezedequias		Galga <b>OK</b>	Executar as tarefas padronizadas	Explicando o passo a passo da execução do serviço e deixando com os mesmos o desenho padrão
Substituir forma de isopor dos tubos retos de ambos fornos por formas metálicas.	Saint-Gobain		Galga <b>OK</b>	Eliminar desvios dimensionais dos conjuntos portas ventos	Fazendo aquisição de 2 conjuntos de formas de cada Alto Forno
Comprar somente junta Teadit para junção algaraviz com tubo reto	Caramez		GMG <b>OK</b>	Eliminar risco de usar outra junta	Passando a compra para específica

### 3.4 Verificação

#### 3.4.4 Comparação dos resultados

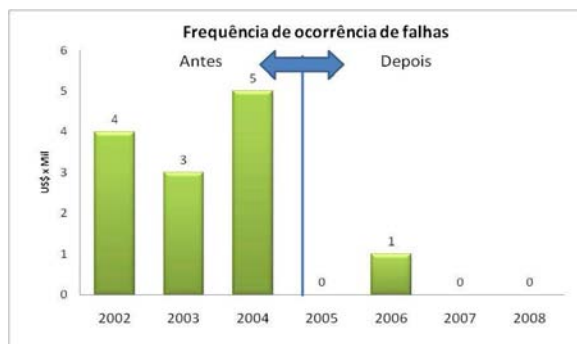


Figura 14 – Frequência de ocorrência de falhas

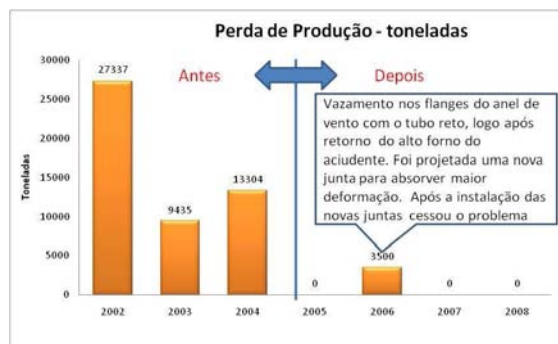


Figura 15 – Perda de Produção



Figura 16 – Perda anual por lucro cessante.

### 3.5 Padronização

#### 3.5.4 Elaboração e alteração do padrão

Após a verificação dos resultados todo o processo de reparo dos tubos retos foi padronizado. Além disso, foi implantado o DTO em todo o processo.

### 3.6 Resultados

#### 3.6.1 Resultados obtidos

Os resultados alcançados com a implementação deste projeto, contribuiu com todas as dimensões da qualidade, a saber:

- *Dimensão segurança* – Eliminação de todos os pontos quentes dos tubos retos, que eram alto potencial de risco de acidente e o risco do pessoal adquirir doenças profissionais devido estar exposto ao barulho do ar comprimido que refrigera os pontos quente.
- *Dimensão meio ambiente* – Eliminação de poluição sonora a mais de 100 decibéis, causada pelas mangueiras de ar comprimido utilizadas para refrigerar os pontos quentes.
- *Dimensão entrega* - Aumento da previsibilidade do escoamento da produção, devido a redução do nível de emergências
- *Dimensão qualidade* - Maior controle do silício e enxofre.
- *Dimensão custo*

**Tabela 6 – Ganho (R\$) anual com implantação do projeto**

Despesas	Investimento inicial	Freq.	R\$ gasto anual
Aquisição de formas metálicas	R\$ 160.000,00	10	R\$ 16.000,00
Aquisição de concreto	R\$ 550.000,00	6	R\$ 91.666,67
Reparo acionamento dos tubos retos	R\$ 200.000,00	6	R\$ 33.333,33
Aquisição de sobressalentes	R\$ 400.000,00	4	R\$ 100.000,00
<b>Total ( A )</b>	<b>R\$ 1.310.000,00</b>		<b>R\$ 241.000,00</b>

Economia	R\$	Freq.	R\$
Ganho de lucro cessante anual	R\$ 16.692.000,00	1	R\$ 16.692.000,00
Redução do custo de manutenção	R\$ 1.000.000,00	1	R\$ 1.000.000,00
Perda de 30 h/ano caminho critico	R\$ 12.875.000,00	1	R\$ 12.875.000,00
Redução sobressalentes e concreto	R\$ 1.000.000,00	1	R\$ 1.000.000,00
<b>Total ( B )</b>	<b>R\$ 31.567.000,00</b>		<b>R\$ 31.567.000,00</b>

<b>ECONOMIA ANUAL (B-A)</b>	Primeiro Ano	Outros Anos
	R\$ 30.257.000,00	R\$ 31.326.000,00

Além dessa economia anual foi obtido o ganho na redução do coque rate devido ao aumento com as paradas de emergência.

### 3.7 Conclusão

O objetivo do trabalho foi alcançado, pois o mesmo conseguiu eliminar todas as ocorrências de ponto quente em tubo reto. Como consequência houve também a redução dos riscos de acidentes de rompimento do sistema de ar soprado e eliminação das paradas de emergências, por aquele motivo. Outro ponto que cabe ressaltar é que o piso das ventaneiras deixou de ser caminho crítico das manutenções preventivas. Também vale salientar que: quando da solução do problema houve uma elevação no moral de todos, em especial o pessoal da operação que trabalha na sala de corridas durante um período maior.

Com a consolidação dos resultados alcançados a Companhia Siderúrgica Nacional atingiu maior previsibilidade e estabilidade operacional dos Altos Fornos.

### Agradecimentos

O sucesso do resultado ora apresentado, teve participação de todos escalões hierárquicos representados pelo corpo técnico e gerencial de operação, manutenção mecânica e refratária da área de redução. Vale destacar o apoio irrestrito de nosso Gerente Geral dos Altos Fornos, Eng<sup>o</sup> Fabiam Franklin, que sempre acreditou na solução do problema e nunca deixou faltar recursos para que este patamar fosse alcançado.