

# REPARO A QUENTE NOS COLETORES DE GASES DE COMBUSTÃO ATRAVÉS DA PROJEÇÃO DA MASSA REFRACTARIA COM VÍDEO MONITORAMENTO.

Neussias Inocência Henrique<sup>(1)</sup>

Giovani Rodrigues da Fonseca<sup>(2)</sup>

Carlos de Souza Almeida <sup>(3)</sup>

Robson Jacinto Coelho<sup>(4)</sup>

Charles Humberto<sup>(5)</sup>

Raphael Miranda<sup>(6)</sup>

Sandro Azevedo<sup>(7)</sup>

Brian Williams<sup>(8)</sup>

## RESUMO

Este artigo pretende abordar o processo de coqueificação em uma Coqueria do tipo *Heat Recovery*, o estudo é baseado na queima da matéria volátil presente no carvão, principal combustível para aquecimento dos fornos. Em alguns processos, em função de algumas interferências na coqueificação, não ocorre a queima completa dos gases no forno e com isso a combustão terciária ocorre nos coletores de gases. Desta forma, com a queima dos gases nos coletores, temos o aumento de temperatura no interior do duto e como a estrutura refratária não foi projetada para suportar esse limite máximo de temperatura, acontece a contração e, posteriormente, o colapso do refratário causando perdas em todo o processo. A proposta deste artigo será apresentar os principais benefícios após a aplicação dessa técnica, sendo elas, a redução no tempo de reparo, o aumento do rendimento de aplicação da massa refratária e o prolongamento na vida útil desse equipamento.

Palavras Chave: Coqueria, Combustão, Refratário, Controle por PID, Reparo a Quente.

---

<sup>1</sup> Thyssenkrupp CSA, RJ, Brasil. Engenharia Química, Engenheiro de Processo Junior.

<sup>2</sup> Thyssenkrupp CSA, RJ, Brasil. Pós graduação em Engenharia de Manutenção - ENGEMAN/ POLI/UFRJ, Engenheiro Mecânico, Técnico Esp. Refratário.

<sup>3</sup> Gestalent Consultoria e Treinamento Ltda, Coordenador Executivo do ENGEMAN - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Engenheiro Civil, Diretor Técnico.

<sup>4</sup> Thyssenkrupp CSA, RJ, Brasil. Engenharia Metalúrgica, Mestre em Engenharia de Materiais, Engenheiro Especialista em Redução.

<sup>5</sup> Thyssenkrupp CSA, RJ, Brasil. Tecnólogo em Mecânica, Coordenador Pres. Bateria Coqueria.

<sup>6</sup> Thyssenkrupp CSA, RJ, Brasil. Engenharia Química, Analista de Operações Pleno,

<sup>7</sup> Thyssenkrupp CSA, RJ, Brasil. Técnico Eletromecânico, Técnico Espec. Refratário

<sup>8</sup> Thyssenkrupp CSA, RJ, Brasil. Engenheiro Civil, Especialista Sênior.

## **1. INTRODUÇÃO.**

Na busca pela maior competitividade e inovação a manutenção é um componente tecnológico, econômico e social presente em todas épocas da vida humana, nas organizações industriais, comerciais, nas cidades ou nas nossas casas, tendo como finalidade obter melhores resultados operacionais, emergindo como foco principal o fortalecimento de sua atividade.

Sendo assim a manutenção deve ser tratada como uma técnica dinâmica, fundamental para uma operação segura e confiável, uma vez que, ela determina diretamente a disponibilidade e operacionalidade dos ativos das empresas.

Assim, a justificativa deste trabalho se deu através da necessidade de melhorias preventivas e corretivas na área da operação e controle de manutenção refrataria, que por sua vez, deve ter todo o cuidado em sua utilização na melhoria da performance operacional.

Logo após se estabelecer algumas ações estratégicas de otimização para melhoria contínua de resultados e uma maior disponibilidade e confiabilidade do sistema, tornam o assunto deste desenvolvimento na manutenção, a chave para o destaque das instituições neste setor tão concorrido, buscando uma excelência de seus ativos como os contratos com parceiros, mostrando um caminho a ser objetivado para o sucesso de ambas as empresas.

Um dos grandes desafios da engenharia de manutenção é proporcionar confiabilidade e segurança a um mínimo custo, por este motivo, se trata de um conjunto de técnicas dinâmicas e ferramentas estratégicas, que avaliam sempre as condições operacionais e a relação custo/benefício de cada manutenção, assim, a proposta inicial de manutenção com reparo a quente, vem evoluindo sistematicamente na empresa, pois as pesquisas avançam a cada dia, como será demonstrado no presente artigo..

### **1.1- OBJETIVOS DO ESTUDO**

Este artigo possui como objetivo principal, estabelecer um marco na gestão de equipamentos operacionais e proporcionar contribuições acadêmicas aos interessados. Assim, nesta concepção, a manutenção começa a ser considerada uma das atividades fundamentais para um desenvolvimento produtivo.

## 2.0 - Estudo de Caso

### 2.1 - O PROCESSO DE PRODUÇÃO DE COQUE

O processo de produção de coque em coqueria *Heat Recovery* utiliza a própria matéria volátil presente na massa de carvão enfiada como principal combustível, o ar necessário para ocorrer à combustão é succionado da atmosfera devido aos fornos trabalharem com pressão negativa.

Os fornos da Coqueria da empresa, como mostra a Figura 1, possuem as seguintes dimensões - 13,34 metros de comprimento, 3,596 metros de largura e 2,383 metros de altura. No topo, ar primário do forno existe seis entradas de ar e nove *Down Conners* utilizados para unir o topo do forno (câmara primaria) a soleira (câmara secundaria).

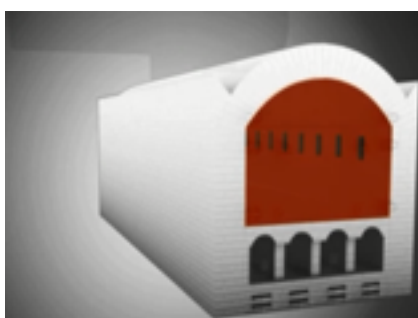


Figura 1. Dimensões do forno

O processo de queima da matéria volátil ocorre em duas etapas, primeiramente o ar succionado no topo dos fornos reage com os gases liberados da massa de carvão, nessa etapa ocorre à queima de 60% dos gases. O gás remanescente assim como, o produto da reação de combustão succionados para a soleira pelos *Down Conners*. Na soleira o ar é distribuído em 16 pontos aonde ocorre a queima dos gases remanescentes. Após a completa passagem e queima do gás pela soleira, o produto da reação de combustão é encaminhado para os coletores via os Up Takes.

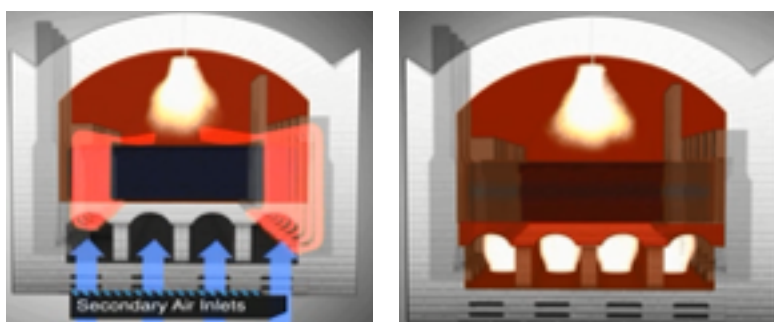


Figura 2. Exemplificação das chamas no forno

Os coletores são o caminho para que os fumos sejam transportados até as caldeiras onde o calor e energia térmica proveniente da queima dos gases é utilizada para produção de vapor. Após a etapa de produção de vapor existe o processo de FGD para limpeza dos gases antes de serem emitidos na atmosfera.

## 2.2 - INFLUÊNCIAS NO PROCESSO *HEAT RECOVERY*

A escala de desenformamento é um dos fatores que afeta a produção de uma coqueria, isto é, o horário que o forno foi enformado e o horário que o forno irá ser desenformado.

São utilizados dois indicadores que visa controlar o ciclo dos fornos, o tempo que o carvão precisa para coqueificar ou atingir seu pico de temperatura (fim da liberação de gás da massa) e o tempo líquido entre o enformamento e o desenformamento.

O ritmo operacional da coqueria da TALQUETAL atual espera um tempo bruto de 68 horas e tempo líquido de 66 horas. O tempo líquido esperado de 66 horas pode aumentar ou diminuir dependendo de muitas variáveis, tanto no carvão ou no processo dos fornos como:

- Matéria Volátil da mistura de carvão;
- Umidade da mistura de carvão;
- Sucção no forno;
- Temperatura do forno no enformamento;
- Altura da massa enformada;

## 2.3. LIBERAÇÕES DE GASES E QUEIMA NO FORNO

A queima dos gases na câmara primaria e secundaria necessita ser controlada de forma eficiente para garantir a maximização da queima. Para isso é necessário conhecer a taxa de liberação de gases proveniente da massa enformada. Conhecer a taxa de liberação de gases seria ótimo para o processo *Heat Recovery*, mas essa informação não é possível, contudo é conhecida a taxa media ou teórica da liberação de gases.

Uma vez que no processo *Heat Recovery* e a única atuação para garantir a maximização da queima, a entrada de ar pelas primarias e secundarias é que devem ser controladas de forma muito eficiente. Uma vez que, o volume de gás comece a diminuir; caso a quantidade de ar não diminua na mesma proporção (a fim de maximizar a combustão) o ar que não entrar em reação resfriará a câmara secundaria e no caso da câmara primaria o ar poderá entrar em reação com o próprio Coque e ocorrer o efeito do *Burn Loss*, que é a queima do próprio coque, efeito totalmente indesejado, pois neste caso, ocorre a queima do produto final da coqueria, ou seja, diminuição da produção.

Como mencionado anteriormente à primeira reação com o ar ocorre na câmara primaria e o restante dos gases na câmara secundaria. No inicio do processo a liberação de gases é tamanha que a admissão de ar deve ser máxima nas duas câmaras. Após certo período o volume de gás começa a diminuir fazendo

com que o gás que vai para a soleira seja menor, conseqüentemente a quantidade de ar na soleira não necessita ser máxima como no início do processo.

Esse efeito ocorre até que a todo o gás a ser liberado seja queimado somente na câmara primária, não sobrando gás para ser queimado na secundária. Nesse, normalmente a entrada de ar na soleira deve ser zerada para manter a reserva térmica do forno.

O controle de admissão de ar na primeira a partir desse momento deve ser realizado a fim de minimizar a queima do coque, pois a taxa de gás que já é muito baixa e o ar remanescente irá entrar em reação com o coque, produzindo o efeito *Burn Loss* e conseqüentemente a diminuição da produção de coque. Todo esse processo descrito de ser feito a fim de maximizar o processo de queima e minimizar o efeito do *Burn Loss*.

## **2.4. COMBUSTÃO TERCIÁRIA**

Uma vez que, existe alguma interferência nas variáveis que influenciam no processo de coqueificação, a queima dos gases no interior no forno (combustão primária) e no *sole flue* (combustão secundária) torna-se-a incompleta, sendo assim, os gases são queimados nos coletores de gases, onde não é para acontecer tal queima, permitindo que a temperatura no interior dos coletores exceda o limite máximo de temperatura máximo da estrutura refratária. Quando a temperatura nos coletores de gases ultrapassar o limite máximo permitido as conseqüências para os processos são qualitativos e quantitativos no que diz respeito a perder produção de coque.

## **2.5. REFRAATÓRIOS**

Materiais refratários, por definição, devem ser resistentes ao calor e são expostas a diferentes graus de estresse: tensão mecânica, estresse térmico e tensão, corrosão/erosão de sólidos, líquidos e gases, de difusão de gás e mecânica abrasão a várias temperaturas. Diferentes refratários são projetados e fabricados de modo a que as propriedades dos refratários são adequadas para suas aplicações.

## **2.6. PRINCIPAIS DANOS A ESTRUTURA REFRAATARIA INTERNA DOS DUTOS COLETORES DE GASES**

Devido a uma constante variação de temperatura acima do limite do refratário, há uma alteração na expansão e contração dos tijolos, mudando sua composição química e física, esta seria uma das causas onde ocorre um colapso dos revestimentos refratários dos dutos, vindo a comprometer o

revestimento metálico externo. Uma vez que, ocorre a queda da estrutura refratária, sendo necessário, fazer a manutenção corretiva, aonde expõem a equipe a altas temperaturas. As figuras a seguir exemplifica a situação:



**Figura 3: Colapso do duto - queda de todos os refratários.**

Como a temperatura nos coletores de gases não pode exceder a temperatura limite (mínima e máxima) do refratário a manutenção é realizada sem que a produção de coque seja interrompida.

Com o objetivo de mitigar possíveis acidentes a carga de carvão enfiada por forno é reduzida de 1000 mm de carvão para 900 mm. Diante disso, o volume de gás de combustão gerado que é encaminhado para as caldeiras torna-se menor, sendo assim a temperatura média dos gases é reduzida para garantir uma melhor condição de trabalho.

Porém, como é enfiada uma quantidade menor de carvão a produção de coque é menor nesses fornos, logo é necessário agilidade nos reparos para que os fornos voltem a produzir a quantidade nominal de projeto dos fornos.

Assim, visando atender essa demanda técnica, foi desenvolvida pela equipe da preservação refratária técnicas, a metodologia de trabalho que possibilita agilidade na manutenção dos dutos e coletores, evitando-se o retrabalho, conforme o fluxo descrito a seguir:

- 1ª passo - Programar a equipe de apoio de andaime para fazer a montagem do tipo balancinho.
- 2ª passo - Equipe da mecânica começa a remoção de chapa.
- 3ª passo - Após a remoção de chapa fazer a remoção das partes danificadas.
- 4ª passo - Colocação de caixa fria, que neste caso seria placa isolante.
- 5ª passo - Fazer a preparação para dar início à Montagem de refratário, montando a ancoragem para dar início a montagem.
- 6ª passo - Após a montagem fazer a preparação com material isolante e recolocação das chapas se caso a chapa tenha sido danificada, calandrar uma chapa nova.

7ª passo - Rebaixar o andaime e fazer uma janela de visita para remover os refratários danificados.

8ª passo - Remover o lixo refratário de dentro dos dutos ou dos *brand pipe*.

9ª passo- Após a limpeza interna fazer a projeção com vídeo endoscopia, para assistir a eficiência da aplicação.

10ª passo- A projeção de massa com a video endoscopia.



**Figura 4: Início da montagem do andaime para o reparo e Andaimos Prontos.**



**Figura 5 - Remoção da chapa para colocação da caixa fria.**



**Figura 6 - Retirada do refratário danificado.**



**Figura 7- Limpeza e colocação da caixa fria.**



**Fotos 8- Iniciando a ancoragem para fazer a montagem refrataria.**



**Figura 9- Conclusão da montagem e ancoragem com tela.**



**Figura 10-Preparação com bisel para fechar o reparo e Início do processo de Soldagem.**



**Figura 11 - Limpeza interna, para melhorar o fluxo de vapor e remoção do refratário.**



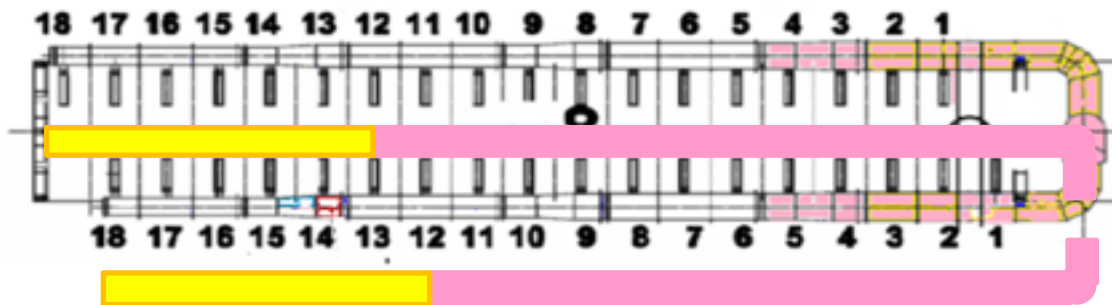


Figura 12: Máquina que se utiliza para fazer aplicação.

Equipamento de projeção da massa refrataria.

Massa refratária; Mapa de aplicação de massa refratária;

**Legenda** de aplicação de massa refratária no coletor primário e no coletor principal - Silplate1500  Isofloc IJTP



A proposta escolhida, aplicou o Silplate 1500 nos 12 primeiros fornos de cada bloco, região de maior sucção, com tendência à temperaturas maiores. Nos demais fornos se aplicou o Isofloc IJTP.

Tabela 1: Saving de Março de 2015 - Massa Refrataria.

Referência de consumo de massa refratária em março/ 2015					
Massa Refratária	Consumo (t)	Custo unitário (R\$)	Custo total (R\$)	Custo total com Silplate (R\$)	Saving (R\$)
Isofloc UTP	8,9	9.084,00	81.210,96	-	-
Silplate 1500	21,0	14.120,00	296.520,00	422.752,80	-
<b>Custo total</b>	<b>29,9</b>	<b>-</b>	<b>377.730,96</b>	<b>422.752,80</b>	<b>(45.021,84)</b>

Se obteve um *saving* de R\$ 45.021,00 no mês de março, com a utilização do Isofloc IJTP.

## Massa refratária - Reparos realizados com a aplicação da massa refratária Isofloc IJTP

1. Reparo da válvula de *by pass* da Bateria B em jul/ 14:
  - Quantidade utilizada: 260 kg de ISOFLOC IJTP;
  - Duração do reparo: massa permanece no local;
2. Reparo do coletor na região do forno 01- A4 (LC), próximo à válvula de *by pass* em dez/ 14:
  - Quantidade utilizada: 600 kg de ISOFLOC IJTP
  - Duração do reparo: 4 meses.
3. Reparo do coletor na região do forno 06- A4 (LM) em fev/ 15:
  - Quantidade utilizada: Massa refrataria ISOFLOC IJTP 160 kg;
  - Duração do reparo: um mês, a região já foi reparada em definitivo;
4. Reparo da válvula de *by pass* 18-A1 (LC) em Mar/ 15:
  - Quantidade utilizada: 1.000 kg de ISOFLOC IJTP;
  - Duração do reparo: massa permanece no local;
5. Reparo do coletor na região do forno 06-A4 (LM) em Mar/ 15:
  - Quantidade utilizada: 240 kg de ISOFLOC IJTP;
  - Duração do reparo: massa permanece no local.
6. Massa refratária

Foram realizados os testes empíricos para avaliar o desempenho das massas refratárias da *Refratek* (Isofloc IJT e IJTP), com o objetivo de desenvolver uma massa refratária similar ao *Silplate* 1200 (Temperaturas < 1.200 °C) e ao *Silplate* 1500 (Temperaturas > 1.200 °C), da Unifrax, a um custo mais baixo, de forma a atender às necessidades das baterias de fornos de coque da TALQUETAL.

Os testes com a massa Isofloc IJT que é similar ao Silplate 1200 foram bem sucedidos e hoje o Isofloc IJT substitui em 100% o Silplate 1200. Nesse momento, a equipe está com testes em andamento com a massa refratária Isofloc IJTP, com o objetivo de identificar uma massa refratária que possa substituir o Silplate 1500, a um custo mais baixo, e que tenha bom desempenho para temperaturas superiores à 1200 °C.

A utilização do Isofloc IJTP para reparo de coletores e válvulas de *by pass* dos fornos permitiu o reparo de forma tão eficiente quanto o reparo utilizando o Silplate 1500, para temperaturas de trabalho de até 1.200 °C. Nestas aplicações houve pouco rebote, principalmente, quando aplicado sobre a chapa, com ótima aderência. Porém quando a aplicação se dava sobre a parte refratária o rebote era maior, sendo necessária maior habilidade do operador durante a aplicação.

O Silplate 1500 é um produto semi-denso fornecido pela Unifrax que é utilizado nas baterias onde há solicitação de alta temperatura (> 1.200 °C) e alta abrasão, em função do fluxo gasoso, por exemplo, no início dos coletores primários, coletores principais e nas portas dos fornos de coque. Neste contexto, justifica-se a aquisição da massa refratária, Silplate 1500, pois ainda não se possui um material que o substitua para temperaturas superiores a 1.200 °C.

### 2.6.1 - Próximos passos

- Realizar a caracterização química e física da massa refratária em laboratório especializado. Será necessário 100 kg de massa refratária de cada proponente para realização dos testes laboratoriais;
- Avaliar a vida útil dos reparos para períodos superiores a 4 meses;

## 3.0- ADESÕES À POLÍTICA DE GESTÃO DE TERCEIROS

Esta atividade de manutenção em refratários, em dutos começou em 2009, onde foram feitos vários convites a empresas do segmento de manutenção refratária para um desenvolvimento abrangente que poderia solucionar ou mitigar a demanda de reparo nos dutos, mas, devido a grande complexidade da atividade, várias empresas se negaram a realizar esta atividade colocando uma série de dificuldades, muito em função, do único parâmetro que a equipe técnica possuía, aliado ao fato de não poder impactar na demanda da produção de coque e vapor.

Então a equipe técnica promoveu um encontro com a empresa parceira, buscando através de uma conversa franca, avaliar o como ela poderia atuar em alguns estudos de campo, pois com certeza, um trabalho desenvolvido de forma conjunta, facilitaria buscar desenvolver este reparo, com isto, se pode concluir que hoje a organização em estudo é a única empresa a fazer um reparo em linha viva de vapor, a uma temperatura em media de 1450 °C no mundo, sabendo-se que na China, se realiza a troca de um duto por um todo.

Outra observação interessante foi que mesmo estando em reparo a perda de produção foi muito pequena, em relação ao alto grau de dificuldade em fazer este reparo. Depois de passar por esta grande dificuldade, em como fazer e com quem fazer, se pode dizer que hoje a equipe possui um alto padrão técnico, sendo autosuficiente, nesta técnica de manutenção em dutos e coletores principais de coqueria do tipo *Recouver*.

Sabe-se, também, que hoje a empresa possui o segundo maior contrato, perdendo somente para a manutenção centralizada. Este contrato esta na modalidade, por execução - **Resultado**, onde demanda uma boa fiscalização e um certo cuidado para que nenhuma das duas partes seja prejudicada.

## 4.0 - RESULTADOS ALCANÇADOS e CONCLUSÃO

As propostas de melhoria estão sendo implementadas na empresa, pois as estratégias tiveram aprovação dos diversos setores envolvidos. Ainda não é possível medir o retorno financeiro, esse só poderá ser aferido para que se possa chegar aos verdadeiros ganhos ao final do período de dezoito meses. No entanto alguns resultados já são visíveis e serão apresentados a seguir:

- Aumento da vida útil do reparo.
- Controle dos materiais (peças, componentes, partes, etc.) e melhor gerenciamento;
- Diminuição dos custos nos reparos;
- Melhoria da produtividade da empresa;
- Diminuição dos estoques de produção;
- Limitação da quantidade de peças de reposição;
- Eficiência por parte da segurança;
- Credibilidade do serviço oferecido;
- Motivação do pessoal de manutenção;
- Boa imagem do serviço prestado assegurando o renome do fornecedor.

Com a utilização de vídeo monitoramento na última fase do processo de reparo nos coletores, a projeção de massa refratária, só é possível identificar os possíveis pontos de falha e fazer as devidas correções no assentamento e amarração dos tijolos, além disso, é possível obter uma eficiência em material e tempo de projeção.

Esta pesquisa buscou desenvolver em uma área de produção siderúrgica, com a principal finalidade de apresentar a manutenção refratária em uma linha viva de produção de vapor e mostrar através deste relato o alto grau de dificuldade, partindo para a eficiência e conseqüentemente, garantindo a sua eficácia e aumentando o tempo de vida útil de uma área que a principio não se tinha nenhum conhecimento de execução, para esse tipo de trabalho, sem impactar na demanda da produção de vapor e coque, contudo, depois de alguns estudos com a unidade técnica e a parceira conseguida com empresas terceiras, foi possível desenvolver métodos e parâmetros para enfim ser garantida a efetividade e a disponibilidade desta área, quebrando alguns paradigmas que há tempos implicavam em um resultado aquém do desejado, pois a equipe não tinha os conhecimentos técnicos necessários para realizar esse tipo de reparo.

Outrossim, após o desenvolvimento de alguns métodos para fazer estes reparos, a equipe técnica partiu para o seguinte objetivo, o de melhorar e aperfeiçoar e garantir a eficiência do objetivo da organização manutenção, sendo desenvolvido um trabalho com vídeo endoscopia para então se obter a convicta certeza que a equipe está fazendo uma boa manutenção corretiva e preventiva, garantindo assim, uma maior disponibilidade e o aumento do tempo de vida útil dos refratários dos dutos de coqueria.

Pode-se enfim dizer que após vários estudos e da aplicação de alguns métodos de manutenção, se conseguiu então definir um padrão específico para a execução, garantido após o desenvolvimento da vídeo endoscopia,

devido ao alto grau de dificuldade de inspeção, em função da atividade não ser interrompida, ou seja, a mesma continua operando em sua maior parte com a produção normal.

Depois de todas estes recursos empregados para uma melhoria continua, agora a equipe está partindo para uma outra fase da aplicação do ensaio com video endoscopia, sendo esta a aplicação de solda cerâmica no dutos, com uma outra empresa que também é prestadora de serviço para a Siderúrgica.

## 5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- MIGUEL, P. A. C. (organizador). **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.
- ALMEIDA, M. T. **Manutenção Preditiva: Confiabilidade e Qualidade**. 2000. Disponível em: Acesso em 06 out. 2011.
- RISSI, Leandro. **Aplicação da metodologia 6 sigma para a resolução do problema da falta de acurácia no estoque de uma empresa**. Tese (Conclusão de curso em engenharia de produção) – Universidade de São Paulo, São Carlos. 2007.
- SOUZA, V. P. **Manual de elaboração de trabalhos acadêmicos**. Juiz de Fora: Editora UFJF, 2008. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/biblioteca/servicos-e-produtos/normalizacao-2/>>. Acesso em: 09 mai. 2010.
- TRIOILA, Mario. **Introdução a estatística**. Rio de Janeiro: LTC, 10ª Edição, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-5462: **confiabilidade e mantabilidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- BELHOT, R. V.; CAMPOS, F. C. **Relações entre manutenção e engenharia de produção: uma reflexão**. Revista Produção [On line]. Vol.5, n.2, 2005. Disponível em: < <http://www.revistaproducao.net/arquivos/websites/32/v05n2a01.pdf> >. Acesso em: 11 out. 2011.
- FERREIRA, L. L.. **Implementação da Central de Ativos para melhor desempenho do setor de manutenção: um estudo de caso Votorantim Metais**. 2009. 60f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2009.
- ASTM – **ASTM Book of Standards**.
- Banerjee S. Versatility of gel-bond **pumpable/castable refractories**. ALAFARXXXVIII Congress, Aruba, 1999:13–24.
- Bradt RC. **Fracture testing of refractories, past, present and future**. Proc. 2nd Int. Symp. on Refractories. Vol. I. Tokyo, Japan: TARJ, 1987:661–668. Reprinted in Taikabutsu 1988; 40(1): 14–18 and in Bull Amer Cer Soc 1988; 67(7): 1176–1179.
- L.D. Hart (ed.), **Alumina Chemicals**, The American Ceramic Society, Westerville, OH, 1990.
- W.H. Gitzen, **Alumina as a Ceramic Material**, The American Ceramic Society, Westerville, OH, 1970
- POPOV, E. P. - **Introdução à Mecânica dos Sólidos**.
- BEER, F. P. & Johnson, E. R. - **Resistência Dos Materiais**
- MELCONIAN, SARKIS. **Mecânica Técnica e Resistência Dos Materiais**. Editora Érica.