

**FESURV - UNIVERSIDADE DE RIO VERDE
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**INSPEÇÃO EM VASOS DE PRESSÃO: REATIVAÇÃO DE UMA CALDEIRA
TIPO B**

MARLON BRANDO DA SILVA CABRAL

Orientador: Prof. Esp. DANIEL FERNANDO DA SILVA

Monografia apresentada à Faculdade de Engenharia Mecânica da Fesurv – Universidade de Rio Verde como parte das exigências para obtenção do título de Bacharel.

RIO VERDE - GOIÁS

2015

**FESURV - UNIVERSIDADE DE RIO VERDE
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**INSPEÇÃO EM VASOS DE PRESSÃO: REATIVAÇÃO DE UMA CALDEIRA
TIPO B**

**MARLON BRANDO DA SILVA CABRAL
Orientador: Prof. Esp. DANIEL FERNANDO DA SILVA**

Monografia apresentada à Faculdade de Engenharia Mecânica da Unirv – Universidade de Rio Verde como parte das exigências para obtenção do título de Bacharel.

**RIO VERDE - GOIÁS
2015**

**FESURV UNIVERSIDADE DE RIO VERDE
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**INSPEÇÃO EM VASOS DE PRESSÃO: REATIVAÇÃO DE UMA CALDEIRA
TIPO B**

MARLON BRANDO DA SILVA CABRAL

Esta monografia foi julgada adequada para a obtenção do grau de **BACHAREL EM ENGENHARIA MECÂNICA** e aprovada em sua forma final.

Prof. Esp. Daniel Fernando da Silva
Orientador

Banca Examinadora:

Prof. Diogo Batista Fernandes

Prof. Rodrigo Francisco Borges Lourenço

Prof. Dr. Warley Augusto Pereira
Diretor da Faculdade de Engenharia Mecânica

RIO VERDE - GO
2015

DEDICATÓRIA

Dedico, primeiramente, a Deus por tudo, por ter confiado em minha para aprender essa profissão, que Deus ilumine meus pensamentos e possa apaziguar meus atos, contudo peço a Deus que vá comigo nessa longa jornada da minha vida.

Dedico esta monografia aos meus familiares que sempre estiveram ao meu lado me ajudando e nunca mediram esforços para isso, ao meu orientador por fazer parte do meu aprendizado e me ensinar fazer cada vez melhor aos meus professores do corpo de bacharel UniRV-Universidade de Rio Verde por serem pessoas dignas de confiança, preparando as pessoas para formar um mundo melhor, por sempre me ensinar com dedicação e paciência e mostrar que tem mais que aprender pois o conhecimento é algo que está sempre se renovando. Obrigado por tudo!

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela minha vida, pela oportunidade que ele está me proporcionando, a minha mãe Irenilda Francisca da Silva Cabral e meu pai Manoel Cabral da Silva Cabral, ao meu irmão Warley Batista Cabral, a minha cunhada Pollyanna Dias Arcangelo Cabral e aos meus amigos que sempre esteve ao meu lado sorridente e felizes, mas temos que seguir em frente com Deus ao nosso lado, planejar o nosso futuro, para conseguirmos chegar aos nossos objetivos.

RESUMO

CABRAL, Marlon Brando da Silva. **Inspeção em Vasos de Pressão: Reativação de uma Caldeira Tipo B**. 2015. 31f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) - UniRv - Universidade de Rio Verde, Rio Verde, 2015¹.

Este trabalho tem como objetivo reativar uma caldeira tipo B e identificar os benefícios obtidos na Inspeção de Vasos de Pressão para assegurar eficaz na operação e segurança de um vaso de pressão, dentro desta análise pode-se destacar: inspeção interna, periódica e extraordinária, tendo assim um controle do estado do equipamento. Os Vasos de pressão são usados para o acumulo de um fluido diferente de sua pressão interna dentro de um recipiente, a qual sua aplicação tem sido necessária no meio industrial, para o funcionamento dos equipamentos, em particular, vapor de água pela a sua abundância, vapor que é utilizado em processo industriais dos mais variados tipos. As caldeiras representam um grande gasto de capital, principalmente as de uso industriais, que precisam gerar vapor superaquecido para o acionamento de eixos, e conseqüentemente a geração de energia elétrica. Portanto, o presente projeto tem com função principal o gerenciamento, controle de segurança da operação a integridade do equipamento e do trabalhador, diminuindo perdas de parada do equipamento por estar danificado, com os dados da inspeção tem como fazer as manutenções e correções necessárias, programando sua parada assim aumentando a lucratividade.

PALAVRAS-CHAVE

Inspeção, Vasos de Pressão, Segurança, Gestão, Eficaz, Gastos, Lucratividade

¹ Orientador: Prof. Esp. Daniel Fernando da Silva - UniRv

ABSTRACT

CABRAL, Marlon Brando da Silva. **Inspection in Pressure Vessels : Reactivation of a Boiler Type B.** 2015. 31f. Thesis (Major in Mechanical Engineering) - UniRv - Universidade de Rio Verde, Rio Verde, 2015².

This paper aims to reactivate a boiler type B and identify the benefits obtained in the Pressure Vessel Inspection to ensure effective operation and safety of a pressure vessel, within this analysis can highlight: internal inspection, periodic and extraordinary, so a control device status. The pressure vessels are used for a different accumulation of its internal fluid pressure within a container, which implementation has been needed in the industrial environment for the operation of equipment, in particular water vapor by its abundance, steam that is used in industrial processes of all kinds. The boilers represent a major capital expenditure, mainly for industrial use, which need to generate superheated steam to drive shafts, and hence the generation of electricity. Therefore, this project has with its main task the management, operation security control to equipment and workers integrity, reducing losses of the equipment stopped by being damaged with the inspection data is to make the necessary corrections and maintenance, scheduling your stop increasing profitability.

KEYWORDS

Inspection, Pressure Vessel, Safety, Management, Effective, Costs, Profitability

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-Caldeira flamotubular. -----	11
Figura 2- Inspeção de segurança inicial externa. -----	13
Figura 3-Inspeção de segurança inicial Interna, Caldeira Mista -----	14
Figura 4- Caldeira Mista tipo B -----	17
Figura 5-Caldeira Mista tipo B- danificação dos tubos. -----	18
Figura 6- Pressão aplicada no teste hidrostático -----	19
Figura 7-Balão sem os tubos do feixe-----	20
Figura 8-Soldagem interna do novo espelho -----	20
Figura 9-Montagem dos novos tubos da fornalha -----	21
Figura 10- Espelho soldado com tubos montados. -----	22
Figura 11- Madrilhamento dos tubos do balão -----	22
Figura 12- Grelha fixa com tubulação e 3`` ASTM 178 Grau A em aço carbono -----	23
Figura 13- Ventilador de ar forçado -----	24
Figura 14- Bomba de alimentação de água -----	24
Figura 15- Injetor de vapor Comodoro -----	25
Figura 16- Garrafa visor de nível -----	25
Figura 17- Válvulas de segurança -----	26
Figura 18- Manômetro -----	26
Figura 19- Caldeira antes da reforma -----	27
Figura 20- Caldeira após a reforma -----	28

LISTA DE TABELA

Tabela 1– Prazo para inspeção periódica de acordo com a categoria do vaso de pressão. ---- 15

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	10
2 DESENVOLVIMENTO.....	11
2.1 Vasos de pressão e suas disposições gerais	12
2.1.1 Inspeção de segurança Inicial.	12
2.1.1.1 Inspeção de segurança inicial externa	12
2.1.1.2 Inspeção de segurança inicial interna	13
2.1.1.3 Teste Hidrostático.....	14
2.1.2 A Inspeção de Segurança Periódica.....	15
2.1.3 A Inspeção de Segurança extraordinária	16
2.2 Aplicação Prática de inspeção de um vaso de pressão de acordo com a sua norma regulamentador NR13.....	17
2.3 Relatório de inspeção de alteração e reparo da cadeira.	18
2.3.1 Objetivo	18
2.3.2 Tipo de inspeção realizada	18
2.3.3 Escopo de Alteração	19
2.3.4 Equipamentos Auxiliares.....	23
2.3.4.1. Equipamento de queima	23
2.3.4.2 Tiragem e ar para combustão.....	23
2.3.4.3 Bombas de alimentação de água.....	24
2.3.4.4 Sistema alternativo para alimentação de água	24
2.3.4.5 Controle de nível	25
2.3.4.6 Válvulas de segurança	26
2.3.4.7 Manômetros e dispositivos de controle de pressão	26
2.3.5 Exames e ensaios realizados.....	27
2.4 Resultados esperados do relatório de inspeção.....	27
3. CONSIDERAÇÕES FINAIS	29
REFERÊNCIAS	30

INTRODUÇÃO

O aumento das Indústrias no Brasil que utilizam o vapor gerado por caldeiras e vasos de pressão para a geração de energia elétrica e também para o seu próprio consumo, nos mostra a necessidade de os vasos de pressão se adequarem as suas normas regulamentadoras, no caso para caldeiras e vasos de pressão temos a NR-13.

A NR-13 é uma norma do Ministério do Trabalho e Emprego do Brasil, e tem como objetivo condicionar a operação de vasos de pressão e caldeiras. Foi criada em 8 de junho de 1978, sofrendo revisão em 8 de maio de 1984. Um Manual Técnico sobre a NR-13 foi elaborado pelo Grupo Técnico Tripartite, em 1996, composto por técnicos, a convite da Secretaria de Segurança e Saúde no Trabalho (SSST), do Ministério do Trabalho (MTb) (PROMINP, 2008).

Com o desenvolvimento desta nova fonte de energia alternativa oriunda das termoelétricas, que utilizam o vapor superaquecido gerado pela caldeira para movimentar a turbina, a qual transforma a energia térmica em energia mecânica na turbina, e esta energia mecânica é transformada em energia elétrica no gerador.

Nos últimos anos ocorreu no país uma crise no suprimento de eletricidade, com a falta de água provocando um racionamento que abalou a confiança da população e do governo na confiabilidade da hidroeletricidade como fonte de energia. Esse problema foi enfrentado com medidas de racionalização de água e conservação de energia. Essa crise despertou a atenção das autoridades e de especialistas para a vulnerabilidade do nosso sistema hidroelétrico, em parte, da escassez de investimentos em novos reservatórios e em linhas de transmissão (SILVA, 2012).

Dentro desse enfoque, o presente trabalho tem como objetivo principal a reativação de uma cadeira tipo B e também análise de inspeção de vasos de pressão da mesma de acordo com a sua norma regulamentadora NR-13. E também assegurar a segurança dos vasos de pressão, e propor adequação conforme norma regulamentadora (NR-13).

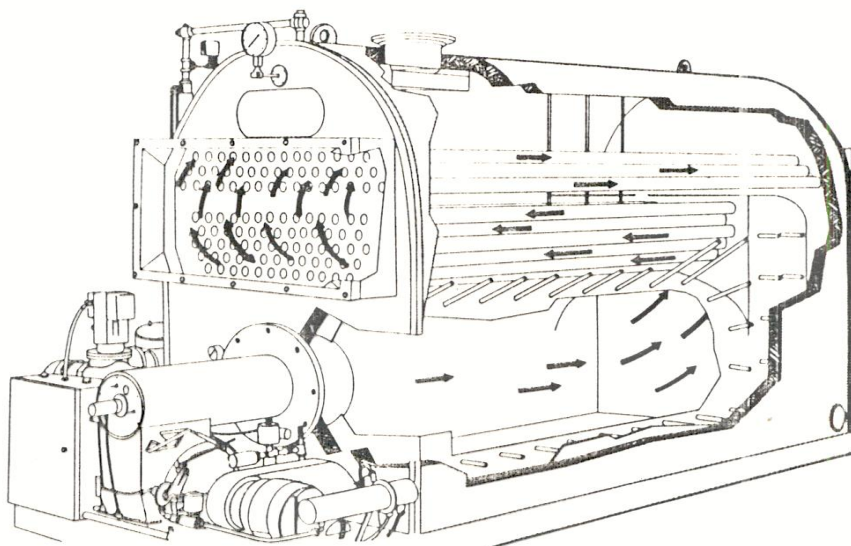
A técnica de pesquisa utilizada se consistiu na leitura e análise de diversos autores a fim de fundamentar a temática escolhida e permitir alcançar conclusões satisfatórias capazes de compreender as exigências pertinentes da NR-13.

2 DESENVOLVIMENTO

Para a inspeção de caldeiras e vasos de pressão devemos seguir o relatório de inspeção de acordo com a classificação da indústria que estamos tratando, no caso deste trabalho, iremos focar as indústrias, identificando dentro da sua linha de produção os seus principais equipamentos que trabalham sobre pressão, para isso iremos detalhar na sequência os tópicos de inspeção de segurança de vasos de pressão dentro da sua norma regulamentadora a NR-13.

Vasos de Pressão são equipamentos que operam com pressão interna diferente da pressão atmosférica. São equipamento que contém fluidos sob pressão interna e/ou externa e sua inspeção é regida pela NR13 do Ministério do Trabalho.

Temos vários exemplos de vasos de pressão, as quais podem citar: Reservatórios de ar comprimido; Caldeiras (Figura 1); Chillers; entre outros.



Fonte: Silva (2014).

FIGURA 1-Caldeira flamotubular.

O trabalho em questão busca a reativação de uma caldeira tipo B, portanto é importante definir os tipos de caldeira: flamotubulares e as aquatubulares. Para (ALTAFANI, 2002) as flamotubulares se caracterizam por conduzir gases dentro dos tubos e trabalham em

baixa pressão já as aquatubulares se caracterizam pela circulação interna dos gases a combustão e água por dentro dos tubos.

As caldeiras são classificadas de acordo com sua pressão de trabalho interna dentro dos propósitos da NR13, conforme segue:

Caldeiras da categoria A são aquelas cuja pressão de operação é igual ou superior a 19,98 kgf/cm².

Caldeiras de categoria C são aquelas cuja pressão de operação é igual ou inferior a 5,99 kgf/cm² e o volume interno é igual ou inferior a 100 litros.

Já a de categoria B são todas aquelas que não se enquadram nas categorias anteriores, ou seja, sua pressão de trabalho fica entre 5,99 kgf/cm² e 19,98 kgf/cm². Este é o tipo de caldeira que estaremos fazendo a sua alteração de projeto para a reativação da mesma.

2.1 Vasos de pressão e suas disposições gerais

De acordo com a Norma regulamentadora NR-13 (Manual Técnico de Caldeiras e Vasos de pressão, 2006). Os vasos de pressão devem ser submetidos a Inspeções de segurança, inicial, periódica e extraordinária.

2.1.1 Inspeção de segurança Inicial.

A inspeção de segurança inicial deve ser feita em vasos novos, antes da sua entrada em funcionamento, no local definitivo da sua instalação, devendo possuir exame externo, interno e teste hidrostático.

2.1.1.1 Inspeção de segurança inicial externa

A inspeção externa de um vaso de pressão como mostra a (Figura2), deve ser feita através de uma análise visual de um profissional habilitado, verificando todos os seus equipamentos de segurança, como as válvulas de segurança e instrumentos de medição de pressão e temperatura e sua placa de identificação de acordo com a NR13.

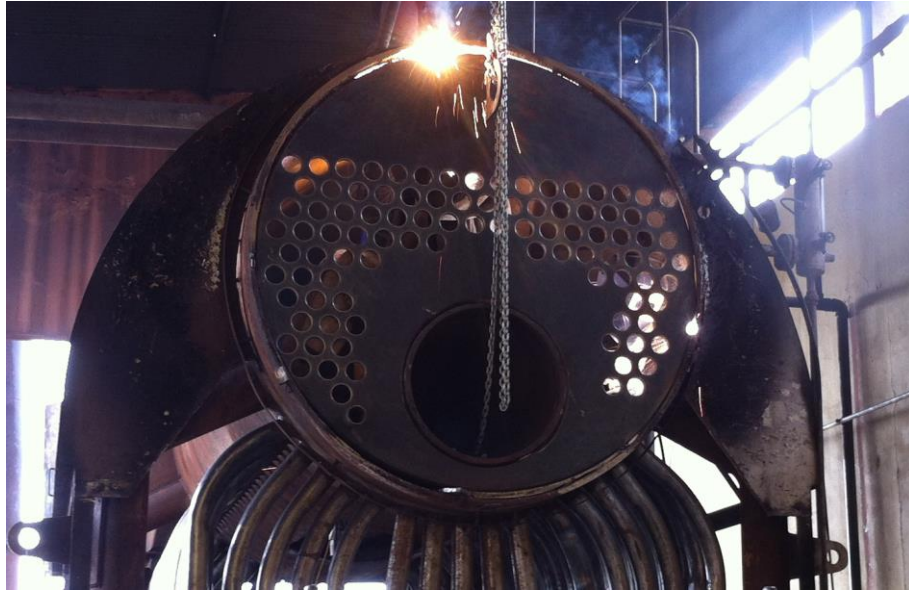


Fonte: Montalgas (2014)

FIGURA 2- Inspeção de segurança inicial externa.

2.1.1.2 Inspeção de segurança inicial interna

A inspeção de segurança interna dos vasos de pressão (Figura 3) vai depender do tipo de equipamento, muitos equipamentos possuem visores externos para a verificação interna dos seus componentes, mas na maioria dos vasos pressão é necessária à desmontagem do mesmo para a verificação dos seus componentes internos, devem ser analisados visualmente os tubos que possa ter sofrido danos mecânicos a qual será verificado algum tipo de anormalidade (corrosão, trinca e etc), no caso das caldeiras devem ser analisados os coletores recomendados anualmente.



Fonte: JBS S.A. – Cachoeira Alta (2014)

FIGURA 3-Inspeção de segurança inicial Interna, Caldeira Mista

Dentre as técnicas utilizadas para a inspeção de segurança interna dos vasos de pressão, o mais recomendado é a técnica de ensaios não destrutivos. Os ensaios não destrutivos são testes para o controle da qualidade, realizados sobre peças, para a detecção de falta de homogeneidade ou defeitos, sem prejudicar a posterior utilização dos produtos inspecionados (Silva, 2013).

2.1.1.3 Teste Hidrostático

De acordo com (FILHO, 2004), testes hidrostáticos são feitos para detectar algum vazamento ou ruptura no vaso de pressão, são realizados com água ou ar comprimido ou outro material disponível, e feito com a pressão 1,5 vezes maior que sua PMTA (pressão máxima de trabalho admissível), e esse processo possui suas vantagens e desvantagens.

- a) Vantagens: importante ferramenta para confirmar a ausência de vazamentos; confirmação do estado de integridade e capacidade de resistir às condições operacionais normais (FILHO, 2004).
- b) Desvantagens: possibilidade de crescimento crítico de descontinuidade e destruição do equipamento seja na fabricação ou após ter sido colocado em serviço; possibilidade de crescimento subcrítico de descontinuidades pela sujeição de regiões danificadas por mecanismos de danos a solicitações mecânicas muito superiores às operacionais normais, e com isso a redução das margens de segurança do equipamento, sem que isto seja percebido; elevada relação custo/benefício da sua aplicação, (FILHO, 2004).

2.1.2 A Inspeção de Segurança Periódica

De acordo com a NR- 13 (Manual Técnico de Operação, 1994) no item 13.10.3, a inspeção de segurança periódica é constituída por exame externo, interno e testes hidrostáticos, já mencionados acima, e deve obedecer aos seguintes prazos máximos estabelecidos na tabela1:

Tabela 1– Prazo para inspeção periódica de acordo com a categoria do vaso de pressão.

Categoria do Vaso	Exame Externo	Exame Interno	Teste Hidrostático
I P.V ≥ 100	1 ano	3 anos	6 anos
II P.V <100 e P.V ≥ 30	2 anos	4 anos	8 anos
III P.V < 30 e P.V $\geq 2,5$	3 anos	6 anos	12 anos
IV P.V $< 2,5$ e P.V ≥ 1	4 anos	8 anos	16 anos
V P.V < 1	5 anos	10 anos	20 anos

Fonte: NR13 – Manual Técnico de operação (1994).

* Onde "P" é a pressão máxima de operação em Mpa e "V" o seu volume geométrico interno em m³.

A Abrangência da inspeção de segurança periódica, bem como as técnicas a serem utilizadas deverão ser definidas pelo PH (Profissional Habilitado) com base no histórico do vaso de pressão e nas normas técnicas vigentes da NR 13 (Manual Técnico de operação, 94).

Os prazos definidos na tabela1 devem ser considerados como máximos. O prazo real deverá ser determinado em função do profissional habitado ou experiência anterior disponível, devendo ser contado a partir do último teste executado no vaso de pressão. Mesmo fora de operação o equipamento poderá sofrer desgastes corrosivos acentuados.

Faz parte deste trabalho detalhar os métodos e procedimentos de inspeção. Essa ação deverá ser feita pelo profissional habilitado com base em códigos e normas internacionalmente reconhecidos e conhecimentos de engenharia, NR 13 (Manual Técnico de operação, 1994).

É importante estabelecer de acordo com o item 13.10.3.1 da NR 13 (Manual Técnico de Operação, 1994), que os vasos de pressão que não permitem o exame externo e interno por possibilidade física devem ser submetidos a testes hidrostáticos.

A inspeção de segurança periódica deve ser feita também pelos operadores e pela equipe de manutenção responsável pelo vaso de pressão.

2.1.3 A Inspeção de Segurança extraordinária

A inspeção de segurança extraordinária deve ser feita quando houver um acontecimento de algum dado do equipamento capaz de comprometer sua segurança ou quando for feita modificações que altere suas condições de segurança.

De acordo com a NR13 (Manual Técnico de operação, 1994), a Inspeção de segurança extraordinária deve ser feita nas seguintes oportunidades:

- a) Sempre que o vaso for danificado por acidente ou outra ocorrência que comprometa sua segurança.
- b) Quando o vaso for submetido a reparo ou alteração importante, capazes de alterar sua condição de segurança.
- c) Antes do vaso ser recolocado em funcionamento, quando permanecer por mais de 12 meses.
- d) Quando houver alterações de local de instalação do vaso.

De acordo com a NR13 (Manual Técnico de operação, 1994), no item 13.10.7, ao concluir a inspeção do vaso de pressão, deve ser emitido um relatório de inspeção, que passa a fazer parte da documentação, a qual o relatório final de inspeção, item 13.10.8, deve conter no mínimo:

- a) Identificação do vaso de pressão.
- b) Fluidos de serviços e categoria do vaso de pressão.
- c) Tipo do vaso de pressão.
- d) Data de início e término da inspeção.
- e) Tipo de inspeção executada.
- f) Descrição dos exames e teste executados.
- g) Resultado das inspeções e intervenções executadas.
- h) Conclusões.
- i) Recomendações e providências necessárias.
- j) Data prevista para a próxima inspeção.

Analisando e não encontrando nenhuma anormalidade estabelecida pelos itens citados acima, o relatório de inspeção deverá ser arquivado, mas se os resultados apresentarem

alterações dos dados descritos deverá ser feitos os reparos necessários no vaso de pressão para que o mesmo entre em funcionamento, a qual será atualizada a placa de identificação do equipamento.

2.2 Aplicação Prática de inspeção de um vaso de pressão de acordo com a sua norma regulamentador NR13.

Apresentadas as normas das inspeções iniciais, periódicas e extraordinárias em vasos de pressão de acordo com a norma regulamentadora NR 13, veremos a seguir um exemplo prático dessa aplicação.

Dentre os vasos de pressão mais importantes, temos as Caldeiras, que recebem uma maior atenção, por oferecerem riscos eminentes em uma instalação industrial por trabalharem em alta pressão, de acordo com o tema estabelecido neste trabalho veremos um exemplo prático de inspeção de alteração e reparo de uma caldeira (Figura4) desativada e instalada na unidade da JBS Friboi – Cachoeira Alta – GO.



Fonte: JBS S.A. – Cachoeira Alta (2014)
Figura 4- Caldeira Mista tipo B

A caldeira em questão (Figura 4) é uma caldeira que estava desativada há seis meses por erro de operação, pois a mesma ficou operando por muitas horas com o nível de água abaixo do recomendado, superaquecendo as paredes dos seus tubos, afetando a estrutura dos mesmos, oferecendo risco de operação. O superaquecimento nas paredes dos tubos, causando corrosão, trincas e deformações, como podemos ver na (Figura 5), oferecendo risco eminente

de explosão da caldeira.



Fonte: JBS S.A. – Cachoeira Alta (2014)

FIGURA 5-Caldeira Mista tipo B- danificação dos tubos.

Feita a inspeção de segurança inicial externa, verificou-se a necessidade de uma reforma completa na caldeira. Para resolver este problema foi gerado um relatório de inspeção de alteração e reparo da caldeira, para a ativação da mesma, que será descrito no próximo item.

2.3 Relatório de inspeção de alteração e reparo da caldeira.

2.3.1 Objetivo

Este relatório tem como objetivo verificar as condições de segurança, operacionais e do projeto de alteração e reparo da caldeira LC 5000 Kg/h da Marca ATA instalada na Unidade da JBS S.A. em Cachoeira Alta – GO, por meio de inspeção e teste hidrostático baseados na Norma Regulamentadora NR-13 do Ministério do Trabalho e Emprego e NBR 12177.

2.3.2 Tipo de inspeção realizada

A inspeção realizada foi à extraordinária com teste hidrostático. São submetidos os teste de inspeção extraordinária sempre que houver risco grave, mudança de local, alteração na estrutura ou alguma avaria na sua estrutura.

O teste hidrostático é para constatar se à alguma avaria na estrutura ou vazamento, medindo a força e a capacidade de trabalho, ou seja a pressão manométrica, como mostra a (Figura 6).



Fonte: JBS S.A. – Cachoeira Alta (2014)

FIGURA 6- Pressão aplicada no teste hidrostático

Podemos observar na (Figura 6) que a pressão de trabalho aplicada no teste hidrotático é 1,5 vezes maior que a pressão de trabalho, ou seja, 210 libras por pol².

2.3.3 Escopo de Alteração

Foi realizada uma reforma completa na caldeira e tendo sido substituídos os seguintes equipamentos: os tubos da fornalha aquatubular; todos os tubos do feixe flamotubular; foi feito também o reparo em solda na parte inferior do balão; o espelho dianteiro da caldeira; todos os refratários da caldeira; reinstaladas as aletas dos tubos da parte aquatubular; substituído todo o isolamento da caldeira assim como o visor de nível da caldeira, pressostato, juntas dos coletores, válvulas de descarga de fundo, válvula de retenção da saída do injetor e chaparia de acabamento da caldeira.



Fonte: JBS S.A. – Cachoeira Alta (2014)
FIGURA 7-Balão sem os tubos do feixe

Não foram substituídos os coletores principais da caldeira nem o espelho traseiro, pois após avaliação e medição de espessura foi verificado que os mesmos se encontravam em bom estado e dentro das espessuras nominais do fabricante do equipamento.

Foram utilizados para os tubos aquatubulares e flamotubulares, tubos ASTM 178 Grau A conforme prontuário da caldeira. Para as tubulações da fornalha foram utilizados tubos nas medidas 76,20 mm de diâmetro externo 3,5 mm de parede e no feixe flamotubular foram utilizados tubos nas medidas de 63,5 mm de diâmetro externo e 3,0 mm de parede.



Fonte: JBS S.A. – Cachoeira Alta (2014)
FIGURA 8-Soldagem interna do novo espelho

Os tubos da fornalha aquatubulares foram dobrados a frio e unidos aos coletores através do processo de soldagem por eletrodo revestido sendo realizada o acabamento com eletrodo Esab OK 7018 2,5 mm.



Fonte: JBS S.A. – Cachoeira Alta (2014)

FIGURA 9-Montagem dos novos tubos da fornalha

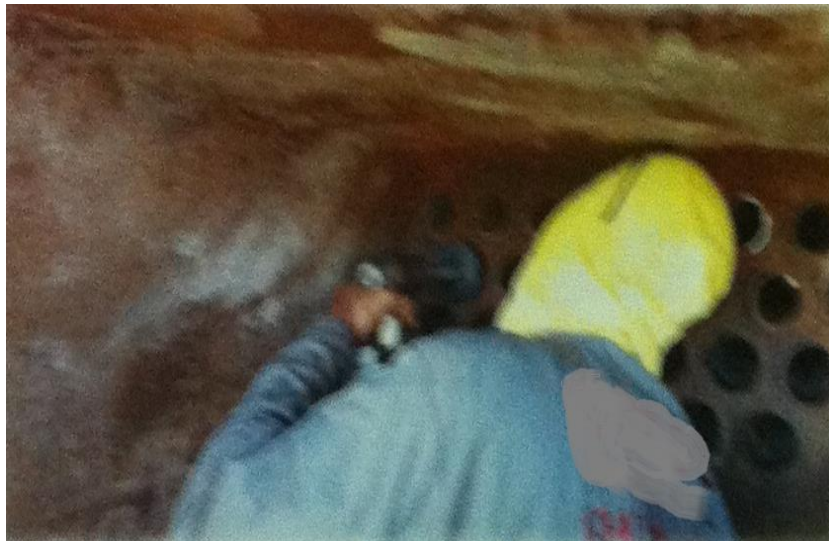
O espelho foi confeccionado em chapa 16 mm de Aço ASTM A 516 – Grau 60 conforme especificação do fabricante através do processo de furação a frio por furadeira radial.

O espelho substituído assim como a solda do balão que foi reparada foram realizados também através do processo de soldagem por eletrodo revestido sendo realizada raiz com eletrodo Esab OK 7018 3,25 mm e acabamento com eletrodo Esab OK 7018 4 mm.



Fonte: JBS S.A. – Cachoeira Alta (2014)
FIGURA 10-Espelho soldado com tubos montados.

Os tubos do feixe foram expandidos pelo processo conhecido como mandrilhamento onde foi adotada uma taxa de expansão de 10% o processo foi executado através de um expandidor de tubos pneumático com controle de torque da marca Lemagi.



Fonte: JBS S.A. – Cachoeira Alta (2014)
FIGURA 11-Madrilhamento dos tubos do balão

As aletas dos tubos da fornalha foram soldadas pelo processo de soldagem por eletrodo revestido com eletrodo Esab OK 6010 3,25 mm.

Foi realizado teste hidrostático com pressão de 210 Lbs por período de 30 minutos

não sendo detectados vazamento ou queda pressão. No prontuário da caldeira é apresentada a pressão de 225 Lbs para teste, porém como a bomba da caldeira não possui capacidade para chegar a esta pressão o mesmo foi realizado um pouco abaixo.

Sendo assim a PMTA da caldeira deveria ser de 9,84 kgf/cm² ou 140 Lbs, sendo classificado na categoria B.

2.3.4 Equipamentos Auxiliares

Foi realizada uma inspeção nos equipamentos auxiliares da caldeira, os quais estão demonstrados a seguir.

2.3.4.1. Equipamento de queima

Dentre os equipamentos de queima da caldeira temos a grelha fixa, (Figura 7). Analisando esta grelha observamos um acentuado nível de corrosão e trincas ao longo da sua estrutura, com isso foi feita a substituição desses tubos por novos tubos.



Fonte: JBS S.A. – Cachoeira Alta (2014)

FIGURA 12- - Grelha fixa com tubulação de 3" ASTM 178 Grau A em aço carbono

2.3.4.2 Tiragem e ar para combustão

O sistema de tiragem e ar para combustão possui um ventilador axial de ar forçado, (Figura8), que tem a função de injetar ar quente para uma queima eficiente e também da retirada do excesso de ar do sistema.

Feita a inspeção, avaliamos que estavam em condições normais de funcionamento.



Fonte: JBS S.A. – Cachoeira Alta (2014)
FIGURA 13- Ventilador de ar forçado

2.3.4.3 Bombas de alimentação de água

A alimentação de água é feita por bomba centrífuga, onde ela retira do reservatório de água e alimenta o balão da caldeira, controlada automaticamente por medidores de nível, mantendo assim um nível estável para melhor eficiência. No momento da coleta de dados somente havia instalada uma bomba centrífuga (Figura14). E a mesma se encontrava em condições normais de funcionamento.



Fonte: JBS S.A. – Cachoeira Alta (2014)
FIGURA 14- Bomba de alimentação de água

2.3.4.4 Sistema alternativo para alimentação de água

Na falta de energia elétrica é acionado o sistema injetor de vapor Comodoro (Figura

15) que é uma válvula acionada manualmente, a qual substitui a bomba de alimentação de água. Esse sistema funciona através da diferença de pressão existente entre os pontos de vapor na caldeira, gerando arraste de água para a alimentação do tubulão de água, a mesma se encontrava em perfeita condições.



Fonte: JBS S.A. – Cachoeira Alta (2014)
FIGURA 15- Injetor de vapor Comodoro

2.3.4.5 Controle de nível

Garrafa e visor de nível tem como função o acompanhamento do nível de água do tubulão para a segurança da caldeira e operadores da caldeira. A mesma em funcionando em perfeita condições.



Fonte: JBS S.A. – Cachoeira Alta (2014)
FIGURA 16- Garrafa visor de nível

2.3.4.6 Válvulas de segurança

Um dispositivo de segurança que quando atingir maior pressão antes que passe da PMTA pressão máxima de trabalho admissível e acionada para manter a integridade do equipamento e operadores são duas válvulas de segurança localizadas no bojo, com abertura em série ajustada para a pressão de 8,5 kgf/cm² e 9 kgf/cm² e capacidade de descarga de 2437 kg/h e 2567 kg/h devidamente calibradas pela empresa Makil até o prazo de 10/07/2015.



Fonte: JBS S.A. – Cachoeira Alta (2014)
FIGURA 17- Válvulas de segurança

2.3.4.7 Manômetros e dispositivos de controle de pressão

Instrumentos de controle para medir diferença de pressão e medidos a pressão interna do tubulão. Manômetro ATA, com escala de 0 a 300 Lbs, com calibração válida até 24/04/2015.



Fonte: JBS S.A. – Cachoeira Alta (2014)
FIGURA 18- Manômetro

2.3.5 Exames e ensaios realizados

Com a caldeira fria, limpa e vazia, utilizando um manômetro adequado e calibrado o equipamento foi cheio completamente de água, por meio das bombas de alimentação da caldeira.

Com todas as aberturas fechadas, e válvulas de segurança raqueteadas a pressão do equipamento foi elevada gradativamente até $14,76 \text{ kgf/cm}^2$ onde foi mantida por cerca de 30 minutos.

Durante o teste foi avaliado estanqueidade do equipamento e das soldas realizadas durante a instalação, por meio do monitoramento da pressão e inspeção visual.

Foram realizadas também inspeções visuais, a fim de identificar pontos de vazamento nas soldas realizadas. Os pontos identificados foram corrigidos, sendo que todas as soldas realizadas foram aprovadas.

A caldeira está a APTA a operar com PMTA de $9,84 \text{ kgf/cm}^2$.

2.4 Resultados esperados do relatório de inspeção

Inspecionados os principais itens de controle da caldeira através do relatório de inspeção, e feito a substituição dos equipamentos que não estavam na conformidade da NR13 e também os vários testes de pressão executados, podemos observar que os resultados esperados com a inspeção foram satisfatórios como demonstra a reforma feita na caldeira (Figura 19) e (Figura20).



Fonte: JBS S.A. – Cachoeira Alta (2014)
FIGURA 19- Caldeira antes da reforma



Fonte: JBS S.A. – Cachoeira Alta (2014)
FIGURA 20- Caldeira após a reforma

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho é um instrumento estratégico de informação e esclarecimento para ser utilizado por operadores que trabalham com vasos de pressão e por profissionais de inspeção de vasos de pressão.

Durante a operação normal de um vaso de pressão, podem surgir determinados fatos que indiquem uma provável falha ou necessidade de manutenção em um determinado equipamento, muitas dessas falhas no entanto não são detectadas durante a operação, fazendo-se necessárias as inspeções regulares.

As observações e recomendações gerais para a operação e inspeção de caldeira e vasos de pressão devem ser de acordo com sua norma regulamentadora NR13, feito através do relatório de operação e inspeção para que o vaso de pressão funcione normalmente de acordo com a especificação do fabricante.

Os dados obtidos com a inspeção da caldeira analisada acima, juntamente com ensaios realizados, é que a mesma esta apta a operar na PMTA, e a caldeira se encontra em perfeito estado de uso, podendo assim ser reiniciada a sua operação.

Portanto, para estas caldeiras que foram reativadas recentemente, recomenda-se uma constante verificação dos itens de controle, assim como a manutenção preventiva, feita através dos vários teste de pressão, haja visto que a caldeira deve ter um histórico de danos por falta de água, para uma maior segurança dos seus operadores.

REFERÊNCIAS

ABNT. **Formulário de Inspeção** NR13. Disponível em: <http://www.abnt.org.br/cb04/admin/projeto%200401107-008.pdf> Formulário de inspeção. acessado em 20/09/2014 às 10:22 hrs.

ALTAFINI, Carlos Roberto. **Apostila sobre caldeiras**. Disponível em: <http://www.segurancaetrabalho.com.br/download/caldeiras-apostila.pdf>. Acesso em 06/10/2012.

ASSUNÇÃO, Kleber Monteiro; RIBEIRO, Márcia Mendes. **Inspeção de Caldeiras**. Rio de Janeiro: Prominp, 2008. 16p. Apostila.

FILHO, Jorge dos Santos Pereira. **Análise de defeitos de teste hidrostático em vaso de pressão**. Florianópolis. UFSC, 2004. 115p. Apostila

MINISTERIO DO TRABALHO. **NR-13: Manual técnico de caldeiras e vasos de pressão**. Disponível em: http://portal.mte.gov.br/data/files/FF8080812BCB2790012BD52933F650E5/ManualTecnicoCaldeiras_2006.pdf acessado em 20/09/2014 às 08:13 hrs.

MONTALGAS LTDA. Disponível em: <http://montalgas.com.br/portfolio-items/inspecao-nr13/> figura 2. acessado em 20/09/2014 as 08:22 hrs.

SILVA, Daniel Fernando. **Operação de caldeiras: gerenciamento, controle e manutenção**. 2012. 33f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) - Fesurv - Universidade de Rio Verde, Rio Verde, 2012.