



HENRIQUE KLÖCKNER FÜHR

PROPOSTA DE AJUSTES EM UMA CALDEIRA FLAMOTUBULAR

Horizontina - RS

2016

HENRIQUE KLÖCKNER FÜHR

PROPOSTA DE AJUSTES EM UMA CALDEIRA FLAMOTUBULAR

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, pelo Curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Horizontina.

ORIENTADOR: Me. Luís Carlos Wachholz

Horizontina - RS

2016

**FAHOR - FACULDADE HORIZONTINA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a monografia:

Proposta De Ajustes Em Uma Caldeira Flamotubular

Elaborada por:

Henrique Klöckner Führ

como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Mecânica

**Aprovado em: 25/11/2016
Pela Comissão Examinadora**

**Me. Luís Carlos Wachholz
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador**

**Dr. Ademar Michels
FAHOR – Faculdade Horizontina**

**Me. Adalberto Lovato
FAHOR – Faculdade Horizontina**

**Horizontina - RS
2016**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais Vilson Führ e Maria Clair Klöckner Führ, pelo imenso apoio e compreensão ao decorrer dessa jornada, não medindo esforços para a concretização deste sonho.

AGRADECIMENTO

Agradecimento único a Deus por me acompanhar e amparar nas horas de cansaço e necessidade espiritual, permitindo a conquista deste sonho, sempre me indicando o melhor caminho.

Muito obrigado à minha família pelo carinho e atenção que sempre dedicaram a mim, sempre me apoiando em todos os momentos, enfim pelos conselhos e pela confiança em mim depositada.

Agradeço ao meu orientador e professores por me proporcionar conhecimento no processo da minha qualificação.

E, por fim, aos amigos e colegas que sempre estiveram presentes e me deram forças para continuar na busca desta meta alcançada, o meu muito obrigado.

“Eu tinha muito do que reclamar, mas daí pensei comigo mesmo – se o barco está chacoalhando tanto é porque está saindo do lugar. Só existe calma para quem se dá por vencido e desiste de remar.” (Matheus Rocha).

RESUMO

Este trabalho se propõe a apresentar um estudo em torno de alguns dos tipos mais comuns de caldeiras existentes. Iniciando pela definição e explicação teórica em torno das caldeiras, que se destinam a gerar vapor por meio de troca térmica utilizando combustível e água, que por sua vez aquece-se e passa do estado líquido para o gasoso, fazendo com as partes metálicas se aqueçam, transferindo calor para a água, então produzindo vapor. Nesta pesquisa também far-se-á referência ao princípio de funcionamento e conceito geral, sendo os tipos enfatizados: Caldeiras Elétricas, Caldeiras Flamotubulares e Caldeiras Aquotubulares. Para além da parte teórica, na técnica deste trabalho aplicou-se um estudo de observação e conserto de uma caldeira flamotubular em funcionamento em uma Indústria Têxtil. A caldeira apresentou uma série de problemas relacionados à manutenção, juntamente ao processo de resultados do estudo, enfatizam-se também as normas de segurança necessárias para operação desse tipo de equipamento, além de adquirir uma noção do papel que o engenheiro deve desempenhar, na hora de optar por um tipo de caldeira que melhor se enquadre para o determinado trabalho, onde haja eficiência, produção com economia e viabilidade de produção.

Palavras-chave: Caldeiras; flamotubulares; normas de funcionamento; eficiência.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Caldeira aquotubular de circulação natural, projetada para operação de usinas termoelétricas.....	15
Figura 2: Caldeira flamotubular vertical de fornalha interna.	18
Figura 3: Bomba e especificações	29
Figura 4: Placa com defeito	29
Figura 5: Placa nova	30
Figura 6: Queimador em estado regular.....	31
Figura 7: Eletrodos do queimador	31
Figura 8: Tubos de exaustão	32
Figura 9: Palhetas internas dos tubos.....	33
Figura 10: Tratamento de água.....	34
Figura 11: Queimador após ajustes	34
Figura 12: Placa de identificação	35
Figura 13: Caldeira em funcionamento	36
Figura 14: Pressão de trabalho	37

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1. PROBLEMA DE PESQUISA.....	11
1.2. JUSTIFICATIVA	11
1.3. OBJETIVO GERAL	12
1.4. OBJETIVO ESPECIFICO	12
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	13
2.1. CONCEITO GERAL SOBRE CALDEIRAS	13
2.2. PRINCÍPIOS BÁSICOS DE CALDEIRAS AQUOTUBULARES	14
2.2.1. CIRCULAÇÃO NATURAL	15
2.2.2. CIRCULAÇÃO ASSISTIDA	16
2.2.3. CIRCULAÇÃO FORÇADA	17
2.3. CONCEITO GERAL DE CALDEIRAS FLAMOTUBULARES.....	17
2.3.2. CALDEIRA HORIZONTAL.....	19
2.4. PRINCÍPIOS BÁSICOS DE CALDEIRAS ELÉTRICAS.....	21
3. METODOLOGIA	23
3.1. MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS	23
3.2. MATERIAIS E EQUIPAMENTOS.....	23
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	24
4.1 CALDEIRA EM FUNCIONAMENTO NA INDÚSTRIA TÊXTIL	24
4.1.1 ANÁLISES DO FUNCIONAMENTO DA CALDEIRA.....	24
4.1.2 RESOLUÇÕES DOS DEFEITOS DA CALDEIRA.....	28
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	39
6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	40
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41

1 INTRODUÇÃO

Na indústria têxtil, mais especificamente na produção de tecelagens e indústrias de confecção de roupas, as caldeiras são equipamentos fundamentais para a instituição no desenvolvimento dos processos de produção e escoamento das matérias primas e produtos acabados. A geração de vapor, por meio das caldeiras, se liga diretamente ao transporte de energia precisa para o início de reações, aceleração de diluições e misturas e pré-aquecimento de reagentes, operações unitárias importantes dos processos de trabalho das empresas (FERREIRA, 2012).

A necessidade de se criar uma fonte de calor que substituísse os problemas apresentados pela queima do carvão fóssil incentivou o surgimento das unidades geradoras de vapor. O objetivo principal era a captação de energia liberada pelo combustível e distribuí-la ao consumo da empresa. Utilizar o vapor enquanto fluido do trabalho se justifica por seu alto nível de calor associado à alta disponibilidade de água na indústria. Estas unidades vão sendo planejadas e construídas de acordo com códigos ou normas vigentes, proporcionando melhor aproveitamento da energia (BAZZO, 1995).

Segundo Campos (2011, p. 11), a caldeira “é um equipamento altamente resistente que possui como princípio básico o aquecimento da água líquida até a transformação gasosa, por meio da troca térmica entre a queima de um combustível e a água”. Também relacionado à caldeira, estas se destinam a gerar vapor por meio de troca térmica pelo combustível e a água, que aquece-se e passa do estado líquido para o gasoso, fazendo as partes metálicas se aquecerem, transferindo calor para a água, que produz vapor (LEITE & MILITÃO, 2008).

Segundo Altafini (2002, p. 03) “caldeira é o nome popular dado aos equipamentos geradores de vapor, cuja aplicação tem sido ampla no meio industrial e também na geração de energia elétrica nas chamadas centrais termelétricas”. Deste modo, todas e quaisquer atividades que necessitam de vapor para o seu funcionamento, em particular, vapor de água em função de sua abundância, têm como componente essencial para sua geração, a caldeira (ALTAFINI, 2002). Este trabalho se propõe a compreender, primeiramente, o funcionamento da caldeira flamatubular e também explanar sobre os defeitos surgidos em uma caldeira bem como os métodos de resolução utilizados.

Desta forma, caldeiras e vasos de pressão, operam em uma pressão acima da atmosférica constituindo um risco iminente na sua operação, qualquer falha pode ser catastrófica. Na ocasião de acidentes, muitos resultam em vítimas fatais. Neste sentido, as indústrias ou empresas que usufruem deste equipamento em atividade, empregam como parâmetros de requisitos de segurança a Norma Regulamentadora 13 que fornece orientações fundamentais e específicas para a segurança do processo.

1.1. PROBLEMA DE PESQUISA

Caldeiras flamotubulares são construídas de forma que a água circula ao redor de diversos tubos, montados entre espelhos, na forma de um único feixe tubular. Para a caldeira começar a sua função ela precisa estar cheia de água, baseado nisso é possível afirmar que sem água ela não pode funcionar, pois não haverá o que transformar em vapor. A caldeira da fábrica têxtil de Boa Vista do Buricá estava com este problema, ela começava o seu processo, mas era paralisada pela falta de água após ter enchido a primeira vez. Com essa paralização era preciso esperar a caldeira esfriar para encher novamente e começar o processo.

Diante disso pretende-se responder a seguinte questão: como resolver a ineficácia da caldeira flamotubular e aperfeiçoar o processo da mesma?

1.2. JUSTIFICATIVA

Levando em consideração as mais diversas atribuições e áreas de atuação de um engenheiro mecânico, tem-se a necessidade de haver conhecimento nas mais diversas áreas, sendo uma delas a de caldeiras.

Oportuniza-se de um problema ocorrido em uma indústria têxtil, onde há ineficácia de uma caldeira flamotubular, para fazer análise do problema e tentar solucioná-lo, otimizando assim o processo de produção da indústria e fazendo com que não haja mais queda ou parada de produção.

Justifica-se este projeto de pesquisa, pois conciliadas a necessidade de conhecimento na área de caldeiras e a necessidade de uma indústria em não ter quedas na produção, devido a paradas em função de mau funcionamento de

equipamentos (caldeira), a realização de análises e estudos torna-se necessária e prioritária.

1.3. OBJETIVO GERAL

Analisar e indicar as soluções para a ineficácia de uma caldeira flamotubular de uma indústria têxtil.

1.4. OBJETIVO ESPECIFICO

Os objetivos específicos seguidos para atingir o objetivo geral são:

- Fazer estudo sobre caldeiras e seu princípio de funcionamento, para posteriormente poder identificar os defeitos.
- Identificar as possíveis causas do problema.
- Levantar hipóteses para resolução do defeito da caldeira.
- Fazer análise das hipóteses e com base em estudos comprová-las.
- Encontrar soluções para o defeito da caldeira estudada em questão.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. CONCEITO GERAL SOBRE CALDEIRAS

Segundo Altafini (2012), caldeira é um equipamento industrial usado para geração de vapor, cuja aplicação tem sido ampla no meio industrial e também na geração de energia elétrica nas chamadas, centrais termelétricas. Também tem seu uso em indústrias que necessitam de vapor em suas atividades. Operam na maior parte das indústrias com pressão de 20 vezes maior que a pressão atmosférica, e em grandes produções de energia elétrica podem operar de 60 a 100 vezes maior.

Conforme o mesmo autor, as caldeiras devem ser operadas por profissionais competentes, isso pelo motivo de apresentarem alto risco de explosão. Pode haver ocorrência de explosões por diversos motivos, como por exemplo, o superaquecimento, o prolongamento excessivo dos tubos, os queimadores mal posicionados, operação em marcha forçada, falta de água nas regiões transmissoras, má circulação de água e falha operacional.

Para a ABNT (1999), inspeções de segurança, baseado na NR-13, devem ser feitas por profissionais habilitados ou pela própria empresa, desde que tenha um profissional para esse tipo de serviço. As inspeções devem ser feitas periodicamente e o período entre as inspeções depende do tipo de caldeira, devendo ser registradas cada inspeção em um prontuário que deve ficar com o proprietário da caldeira. As inspeções devem ser feitas com a caldeira desligada, e basicamente deve ser examinado:

- Primeiramente o prontuário da caldeira se está devidamente preenchido e atualizado;
- Exame externo se a caldeira funciona normalmente;
- Exame interno antes da limpeza e depois da limpeza;
- Examinar as válvulas de pressão que geralmente são duas em cada compartimento.

2.2. PRINCÍPIOS BÁSICOS DE CALDEIRAS AQUOTUBULARES

Caldeiras aquotubulares constituem-se de tubos de pequeno diâmetro, os quais podem estar dispostos em forma de parede d'água ou feixes tubulares, fazendo com que a água circule dentro deles (BAZZO, 1995).

São empregadas quando interessa obter pressões e rendimentos elevados, pois os esforços desenvolvidos nos tubos pelas altas pressões são de tração ao invés de compressão, como ocorre nas pirotubulares, e também pelo fato dos tubos estarem fora do corpo da caldeira obtemos superfícies de aquecimento praticamente ilimitadas (MARTINELLI, 1998, p. 28).

Na afirmação de Martinelli (1998), as finalidades a que se propõe a caldeira aquotubular envolvem uma grande diversidade e em vista disto apresentamos como decorrência muitos tipos e modificações. Essas modificações são como tubos retos, tubos curvos de um ou vários corpos cilíndricos, enfim a flexibilidade permitida possibilita vários arranjos.

Caldeiras de tubos curvos encontram uma barreira para sua aceitação comercial, pois exige um controle especial da água de alimentação (tratamento da água), embora apresente inúmeras vantagens, entre elas, manutenção fácil para limpeza ou reparos (MARTINELLI, 1998).

[...] Tubos curvos permitem a construção de unidades mais compactas e de alta capacidade de produção com maior pressão de vapor [...] (BAZZO, 1995).

Podendo possuir tambor transversal ou longitudinal, as caldeiras de tubos retos são ainda bastante usadas devido, entre outros fatores, a possuírem simples acesso aos tubos para fins de limpeza ou troca, causarem pequena perda de carga, exigirem chaminés pequenas, e porque também todos os tubos principais são iguais necessitando de poucas formas especiais (MARTINELLI, 1998).

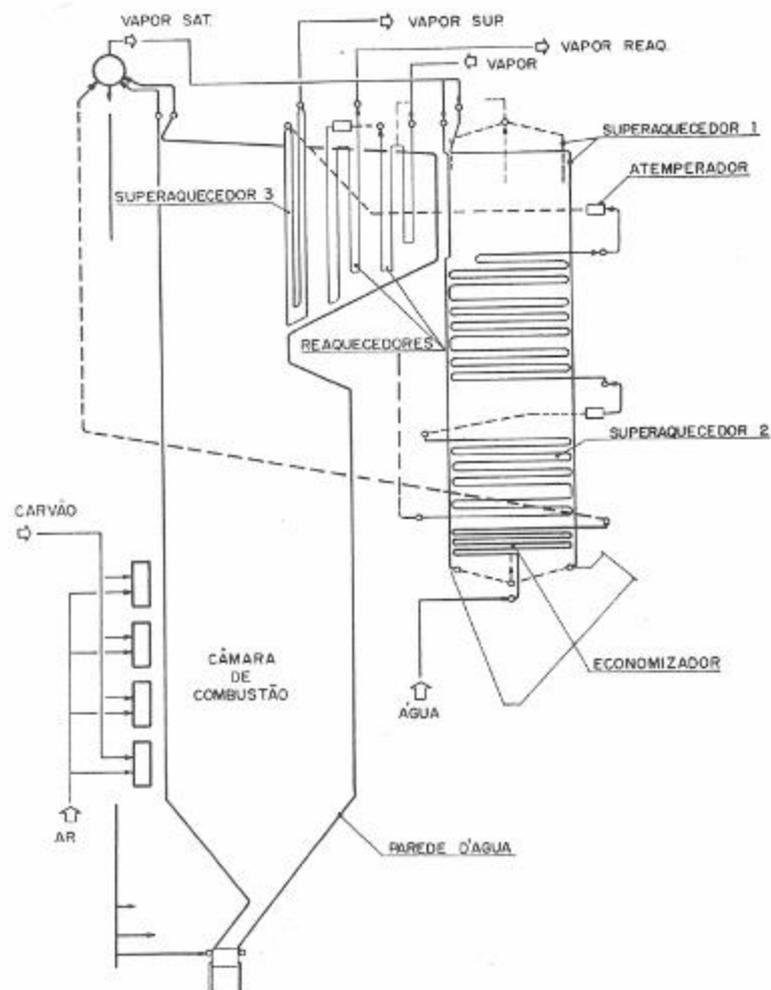
Tubos retos são características de projetos mais antigos. A desvantagem dessas caldeiras é a capacidade limitada de geração de vapor e rendimento térmico é menor. As vantagens são de exigirem menor rigor no tratamento de sua água e apresentam menor gasto na sua manutenção (BAZZO, 1995).

2.2.1. CIRCULAÇÃO NATURAL

Segundo Bazzo (1995), caldeiras de circulação natural são geralmente as mais usadas, formadas por paredes d'água ou feixes tubulares compostos por tubos de grande diâmetro (aproximadamente 50 mm e espessuras da ordem de 4 mm) e que atendam a inclinação recomendada. O número de tambores é variável. Porém sua abrangência é limitada nas unidades de grande porte, até pressões de ordem de 160 bar. A circulação natural fica prejudicada a partir desse valor, pela pequena diferença entre os pesos específicos do líquido e do vapor.

A circulação de água através dos elementos tubulares é conseguida pela diferença de densidades existente entre os tubos geradores de vapor [...] (REIS, 2002, p. 45).

Figura 1: Caldeira aquotubular de circulação natural, projetada para operação de usinas termoelétricas.



Diferentes concepções de caldeiras aquotubulares de circulação natural. Pode-se observar, claramente, o sentido de circulação tomada pela água em ebulição. O vapor, mais leve, sobe na forma de bolhas pelos tubos mais quentes e se acomoda no tambor superior. O vazio deixado pelo vapor é ocupado pelo líquido, que desce pelas partes mais frias, ou por tubos localizados externamente ao corpo principal da caldeira (BAZZO, 1995, p. 79)

De acordo com Bazzo (1995, p.81) a Figura 1 mostra uma caldeira de porte maior, equipada com superaquecedores, reaquecedores e economizador que é projetada para uso em usinas termoelétricas. De acordo com as setas, o economizador que fornece a água de alimentação, introduzida no tambor separador. O líquido circula livremente descendo e subindo, retornando ao tambor separador. A pressão pode aumentar até limites estabelecidos para cada operação, forçando o vapor saturado a deixar o tambor, na direção dos superaquecedores e turbina de alta pressão. “Carvão pulverizado e ar de combustão são injetados por queimadores horizontais no interior da fornalha, gerando o calor necessário ao processo de evaporação e superaquecimento do vapor”. A bomba de alimentação e o fornecimento de combustível são automáticos, dependem do nível d’água e da pressão de trabalho, controlados por sensores instalados no tambor separador.

2.2.2. CIRCULAÇÃO ASSISTIDA

Conforme Bazzo (1995), a circulação assistida é basicamente constituída com paredes d’água e um único tambor separador.

São também conhecidas por caldeiras de circulação auxiliada ou de circulação acelerada. O princípio de funcionamento é o mesmo, com a diferença de que a água do tambor é continuamente movimentada por bombas de recirculação. São bombas de alta vazão e pequeno salto de pressão, especialmente projetadas para operarem com água quente (BAZZO, 1995, p. 81).

No conceito de Bazzo (1995), são cogitadas para atuarem de valores próximos a pressão crítica da água até a pressão zero. A denominação das primeiras unidades das caldeiras foi La Mont constituída para trabalhar em usinas termoelétricas de médio e grande porte. Pequenas unidades são disponíveis a nível comercial, além da alta eficiência térmica, atingem ligeiramente a condição de estrutura permanente.

As bombas de recirculação dispensam a instalação de tubos de grande diâmetro, reduzindo para tubos de (25 a 35 mm) proporcionando economia de

material e maior eficiência na troca de calor com os gases de combustão. “Para evitar eventuais problemas de cavitação no bocal de sucção, elas são montadas na base da caldeira, abaixo do tambor separador”. A bomba de alimentação e o fornecimento de combustível funcionam da mesma forma que as caldeiras de circulação natural (BAZZO, 1995).

2.2.3. CIRCULAÇÃO FORÇADA

Segundo Bazzo (1995), as caldeiras de circulação forçada são conhecidas como caldeiras de passe forçado e foram feitas para atenderem usinas termoelétricas de alta potência. Sem recirculação de água, livre da circulação natural, a água é forçada a fluir.

Fundamentado nisso, substitui-se a circulação por gravidade pela circulação forçada, pela ação da própria bomba de alimentação. Com isso dispensando a instalação de tubos de grande diâmetro, aumentando o circuito de tubos e arrumando em forma de uma serpentina contínua formando o revestimento da fornalha, melhorando a transmissão de calor e reduzindo o tamanho de tambores e coletores (MARTINELLI, 1998, p. 31).

Pressões inferiores á pressão crítica, entretanto, sugerem a instalação de cilindros separadores, localizados em pontos intermediários do circuito de água, para permitir a extração de impurezas, de modo a minimizar a presença de sílica e outras substâncias sólidas no vapor que deixa a caldeira (BAZZO, 1995, p. 83).

As primeiras caldeiras foram chamadas de Benson e foram construídas para operarem em usinas termoelétricas de grande porte. “A temperatura do vapor na saída dos superaquecedores varia rapidamente, com a oscilação do fluxo de água” (BAZZO, 1995).

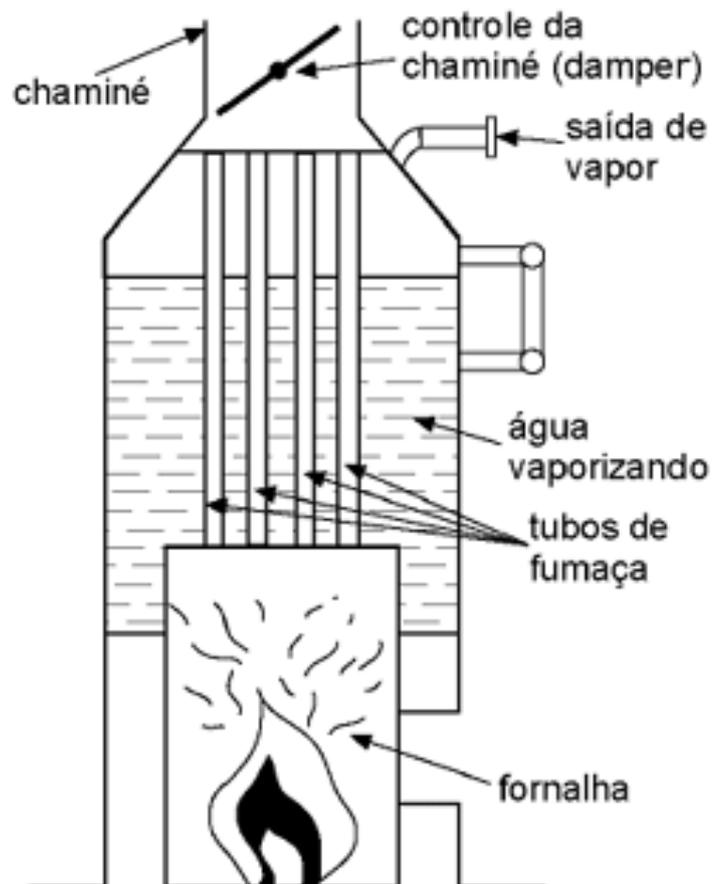
2.3. CONCEITO GERAL DE CALDEIRAS FLAMOTUBULARES

Segundo Bazzo (1995), caldeiras flamotubulares são também conhecidas como caldeiras fumotubulares e são construídas de forma que a água circula ao redor de diversos tubos, montados entre espelhos, na forma de um único feixe tubular (Figura 2). Os gases decorrentes da combustão circulam pela tubulação em direção a chaminé, onde são dispersos no meio ambiente. Os tubos são unidos aos

espelhos pelo método de solda, ou mandrilagem. As flamotubulares são de operação mais simples, e normalmente possuem poucos instrumentos para o monitoramento de sua operação, o que faz com que normalmente sua operação seja negligenciada, fazendo com que este tipo de caldeira lidere as estatísticas de acidentes no mundo, geralmente explosões causadas pelo superaquecimento das partes de pressão por baixo nível de água (LAGEMANN e SALLES, 2006).

Para Martinelli (1998), elas podem ser divididas por duas formas, caldeiras verticais e caldeiras horizontais, dentre estas divisões existem subdivisões, nas verticais (com fornalha interna, ou de fornalha externa), e as horizontais divididas em vários grupos (com fornalha externa, multitubulares, com fornalha interna, tubulação central, *lancashire*, locomóveis, escocesas, marítimas, estacionárias, compactas).

Figura 2: Caldeira flamotubular vertical de fornalha interna.



Fonte: LEITE & MILITÃO, 2008.

2.3.1. CALDEIRA VERTICAL

São do tipo monobloco, constituída por um corpo cilíndrico fechado nas extremidades por placas planas chamadas espelhos. São várias as suas aplicações por ser facilmente transportada e pelo pequeno espaço que ocupa, exigindo pequenas fundações.

Apresenta, porém, baixa capacidade e baixo rendimento térmico. São construídas de 2 até 30(m²), com pressão máxima de 10 (kg/2), sendo sua capacidade específica de 15 a 16 kg de vapor por m² de superfície de aquecimento. Apresenta a vantagem de possuir seu interior bastante acessível para a limpeza, fornecendo um maior rendimento no tipo de fornalha interna. São mais utilizadas para combustíveis de baixo poder calorífico (MARTINELLI, 1998, p. 23).

Nas caldeiras, o fluído quente (gases de combustão) escoam no interior de tubos cercados por água. Com isso, a transferência de calor ocorre em toda circunferência dos tubos, que são montados de maneira similar a feixes de permutadores de calor. As verticais são menos utilizadas, enquanto as horizontais são de mais fácil manuseio (LAGEMANN e SALLES, 2006).

2.3.2. CALDEIRA HORIZONTAL

Martinelli (1998), apresenta cinco divisões de caldeiras horizontais:

- Caldeira Cornovaglia: tem funcionamento e construção simples, é composta por uma tubulação por onde passam os gases da combustão, transferindo o calor para a água, pelo modo de contato direto, em geral é de grande dimensão, e por esse fato tem pressão limitada.
- Caldeira Lancashire: para Martinelli (1998), esse modelo de caldeira é uma evolução da anterior, e possui 2 tubulões internos, tornando a caldeira mais produtiva.
- Caldeiras Multitubulares: para um maior aproveitamento de energia, e tornando a caldeira flexível no assunto combustível, foi trocado um ou dois tubulões, de maior diâmetro, por vários de diâmetro menor. Ela permite apenas fornalha externa, mas devido ao alto custo para manter, tem diminuído sua utilização.
- Caldeiras Locomotivas: são multitubulares com fornalha revestida por parede dupla metálica, que forma uma câmara onde circula a água, tendo

um mediano custo de construção, apresenta a vantagem de ser portátil e apresenta um serviço contínuo em condições severas e custo mínimo, apesar de ter pequena velocidade de circulação da água e grandes superfícies metálicas, tem grande produção de vapor em relação a seu tamanho.

- Caldeiras Escocesas: é a mais evoluída dentre as demais caldeiras flamotubulares, de fácil instalação, é dotada de tecnologias que auxiliam na utilização (sensores, interruptores), é formada por um corpo cilíndrico que contém um tubulão sobre o qual existe um conjunto de tubos de pequeno diâmetro. Em geral operam com óleo ou gás, sendo circulação garantida por ventiladores, unidades compactas alcançam elevado rendimento, e sua vaporização pode atingir 83%.

As caldeiras flamotubulares podem ser construídas com fornalhas internas ou externas, mas as de fornalha interna apresentam maior produção de vapor por unidade de superfície de aquecimento, variando de 30 a 40 kg/m²h. O nível da água que circula dentro da caldeira, deve permanecer acima do nível da tubulação, pois a água serve como refrigerante natural das superfícies de aquecimento (BAZZO, 1995).

Conforme Bazzo (1995), as fornalhas variam entre 400 e 1300 mm de diâmetro, elas podem ser projetadas e construídas com paredes corrugadas, o que faz com que a mesma admita maiores pressões de trabalho, garantindo maior segurança. O diâmetro do corpo cilíndrico externo varia de 900 a 2800 mm, a fixação de estais entre os espelhos e o corpo cilíndrico externo da caldeira proporciona segurança. O diâmetro dos tubos varia de 30 a 100 mm, e devem estar bem ajustados aos espelhos, prolongamentos excessivos, dificultam a trajetória livre dos gases quentes, causando superaquecimento localizado resultando em fissuras, que podem ocasionar em uma explosão.

Do ponto de vista construtivo, são mais comuns as caldeiras flamotubulares horizontais, de fornalha interna e de fundo seco. [...] caldeiras flamotubulares tem uso restrito [...]. Caldeiras flamotubulares verticais tem uso restrito a locais onde o espaço físico é reduzido, ou as aplicações que não requeiram grande quantidade de vapor (BAZZO, 1995, p. 88).

As caldeiras de fornalhas externas permitem a queima de combustíveis sólidos, como lenha ou carvão, a fornalha é toda envolvida por paredes com água, nesse modelo de caldeira é necessário o tratamento químico da água, a circulação

da água é natural, possui dispositivo de controle que garante a quantidade necessária de água, que deve possuir maior capacidade de vazão do que a capacidade de produção da caldeira, para garantir a segurança de quem está ao seu redor (BAZZO, 1995).

As flamotubulares são de operação mais simples por geralmente possuírem poucos instrumentos para o auxílio do operador, o que faz com que normalmente sua operação seja negligenciada, liderando as estatísticas de acidentes, como explosões ocorridas pelo baixo nível da água que faz o resfriamento, resultando em um superaquecimento (BRAMBILLA apud WINCK, 2007).

2.4. PRINCÍPIOS BÁSICOS DE CALDEIRAS ELÉTRICAS

Conforme Bazzo (1995), caldeiras do tipo elétricas têm como característica, a conversão de energia elétrica em energia térmica, através de corrente elétrica em uma resistência ou pela própria água da caldeira.

As caldeiras elétricas têm o princípio de funcionamento fundamentado na conversão direta da energia elétrica em energia térmica, mediante a simples passagem de corrente através de resistências elétricas ou através da própria água da caldeira (BAZZO, 1995, p. 90).

De acordo com Campos, Lima e Tavares (2006), as caldeiras elétricas têm alto rendimento, o qual pode chegar a 98%, pela troca de calor ocorrer na massa líquida onde não há perda do calor gerado. Caldeiras elétricas constituem-se de um só tambor, com pressões que podem chegar a 21kgf/cm^2 ($2059,40\text{ KN/m}^2$) e produzir até 30 ton/h. Essas caldeiras tem a característica de não possuir chaminé e requererem um rigoroso tratamento de água.

Segundo Bazzo (1995), as caldeiras elétricas mais simples apresentam resistências elétricas. Por sua vez, esse tipo de caldeira limita-se a 2,5 MW, e opera com voltagens entre 200 V a 500 V. Com relação à taxa de evaporação, é aproximadamente 1,3 kg/kWh podendo haver variação.

Caldeiras elétricas, que requeiram uma produção maior, são projetadas e construídas com eletrodos. A nível industrial são disponíveis as caldeiras de eletrodos submersos e caldeiras a jatos de água. Ambos os tipos, funcionam com três eletrodos e contra- eletrodos controlados por mecanismos que modulam a carga da caldeira, de acordo com as necessidades da instalação (BAZZO, 1995, p. 91).

Conforme Bazzo (1995), caldeiras de eletrodos submersos, apresentam três eletrodos instalados, havendo um a cada 120° da caldeira, sendo estes refrigerados

pela água que é bombeada pela bomba de recirculação. Os eletrodos submersos da caldeira podem operar em voltagens entre 3,8 kV e 13,8 kV, dependendo de como foi instalado.

De acordo com Campos, Lima e Tavares, (2006), os tipos mais comuns de caldeiras elétricas são:

- Caldeiras a resistência, são geralmente usadas para baixas produções e basicamente definem-se como: caldeiras em que o calor é gerado através da corrente elétrica que passa pela resistência submersa em água. Deve-se ter um bom controle da água neste tipo de caldeira elétrica, pois caso contrário poderá haver queima da resistência.
- Caldeiras de eletrodo submerso, definem-se basicamente como: caldeiras onde o calor é gerado pela passagem de corrente elétrica utilizando como condutor, a água. Essas caldeiras são ditas como adequadas para pressões de até 15 kgf/cm² (1471 KN/m²).
- Caldeiras de jato de água, de alta tensão, são recomendadas para pressões acima de 20 kgf/cm² (1961,33 KN/m²) e produções de até 30 ton/h.

Conforme Bazzo (1995), as caldeiras a jato de água atendem a capacidades maiores e são projetadas para operar com voltagens de 3,8 a 25,0 kV.

Segundo Bazzo (1995), caldeiras elétricas restringem-se à regiões onde há grande quantidade de energia elétrica e com baixos custos. A opção por caldeiras elétricas é, na maioria dos casos, pelo local não ser apropriado ao uso de combustíveis tais como carvão, lenha e outros combustíveis industriais que geram poluição.

3 METODOLOGIA

3.1. MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS

Este estudo trata-se de uma pesquisa exploratória, que segundo Gil (2002), proporciona maior familiaridade com o problema, com vista a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses. O seu objetivo principal é o aprimoramento de ideias ou a descoberta de intuições. Segundo Viana (2001, p.95), “a metodologia pode ser entendida como ciência e a arte de como desencadear ações de forma a atingir os objetivos propostos para as ações que devem ser definidas com pertinência, objetividade e fidedignidade.” Assim, possibilita a consideração dos mais variados aspectos, assume a forma de pesquisa bibliográfica e estudo de caso. Conforme Miguel (2007)

A importância metodológica de um trabalho pode ser justificada pela necessidade de embasamento científico adequado, geralmente caracterizado pela busca da melhor abordagem de pesquisa a ser utilizada para endereçar as questões da pesquisa, bem como seus respectivos métodos e técnicas para seu planejamento e condução (MIGUEL, 2007, p.216).

Quanto aos procedimentos técnicos, trata-se de um estudo de caso que, de acordo com Gil (2002), pesquisa e investiga um fenômeno dentro do contexto local, real e quando os limites entre fenômeno e contexto não estão claramente definidos.

3.2. MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Para a execução do reparo da caldeira, será efetuado um estudo minucioso de todos os mecanismos presentes, pois não há nenhum dano visível. Será totalmente vistoriada e testada. Deverá ser realizar a troca das peças nas quais apresentaram defeitos, levando em garantia que o restante estará em perfeito funcionamento sem ter o perigo de apresentar novo defeito e conseqüentemente queda na produção. Importante ressaltar que todos os dados coletados serão devidamente descritos e teorizados para melhor compreensão do leitor e também para que todos os defeitos que a caldeira apresentou sejam explicitamente relatados.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 CALDEIRA EM FUNCIONAMENTO NA INDÚSTRIA TÊXTIL

Na Indústria onde este estudo foi realizado, encontra-se uma caldeira, esta, segundo os registros do Termo de Abertura da mesma sendo da marca TEC Industrial Ltda, Modelo VMB 150, Tipo Vertical Flamotubular, Categoria B, que segundo Ferreira (2012), equipamentos que produzem vapor d'água, podendo se utilizar como transportador de energia nas indústrias partindo da revolução industrial, sendo utilizado da mesma maneira até os dias atuais. Ele é gerado a partir da água, permitindo o ajuste de temperatura por pressão, que é transportado por tubulação, tendo grande densidade energética. O combustível de alimentação da caldeira é o Diesel. Conforme Martinelli (2014), caldeiras verticais, do tipo monobloco, são basicamente constituídas por corpo cilíndrico, fechado nas extremidades por placas planas chamadas espelhos. Suas aplicações são variadas justamente por ser facilmente transportada e ocupar pequeno espaço, exigindo pequenas fundações. Porém, apresenta baixa capacidade e baixo rendimento térmico.

Desta forma, até o presente momento, constava nos registros relacionados ao funcionamento da caldeira. Realizou-se a primeira inspeção de segurança da caldeira executando-se todos os testes e ensaios necessários – que conforme Martinelli (2014), estes exames internos, externos e teste hidrostático, realizados nas dependências do fabricante da caldeira são importantes e necessários, uma vez que, os elementos da caldeira podem passar por danos durante seu transporte, armazenamento e montagem no local. A inspeção de segurança só poderá portanto ser realizada quando a caldeira já estiver instalada em seu local definitivo. Sendo assim, a caldeira segundo o relatório, estava apta para operar, sem restrições.

4.1.1 ANÁLISES DO FUNCIONAMENTO DA CALDEIRA

Descreve-se, neste momento do trabalho, as constatações, modificações, inspeções, trocas de peças e/ou partes da caldeira, isto tudo obtido por meio do acesso aos registros em ata sobre a caldeira. Sobre estes registros, Martinelli (2014, p.49) aponta que:

O "Registro de Segurança" deve ser constituído de livro próprio, com páginas numeradas, ou outro sistema equivalente onde serão registradas: a) todas as ocorrências importantes capazes de influir nas condições segurança da caldeira; b) as ocorrências de inspeções de segurança periódicas e extraordinárias, devendo constar o nome legível e assinatura de "Profissional Habilitado", e de operador de caldeira presente na ocasião da inspeção.

Conforme a Norma Regulamentadora NR 13, toda caldeira deve possuir, no estabelecimento onde estiver instalada, a seguinte documentação, devidamente atualizada:

- a) "Prontuário da Caldeira", contendo as seguintes informações: - código de projeto e ano de edição; - especificação dos materiais; - procedimentos utilizados na fabricação, montagem, inspeção final e determinação da PMTA (Pressão máxima de trabalho admissível); - conjunto de desenhos e demais dados necessários para o monitoramento da vida útil da caldeira; - características funcionais; - dados dos dispositivos de segurança; - ano de fabricação; - categoria da caldeira;
- b) "Registro de Segurança", deve ser constituído de livro próprio, com páginas numeradas, ou outro sistema equivalente onde serão registradas: todas as ocorrências importantes capazes de influir nas condições de segurança da caldeira e as ocorrências de inspeções de segurança periódicas e extraordinárias, devendo constar o nome legível e assinatura de um profissional habilitado e de operador de caldeira presente na ocasião da inspeção.
- c) "Projeto de Instalação", deve conter pelo menos a planta baixa do estabelecimento, com o posicionamento e a categoria de cada vaso e das instalações de segurança;
- d) "Projetos de Alteração ou Reparo";
- e) "Relatórios de Inspeção", inspecionada a caldeira, deve ser emitido o relatório, que passa a fazer parte da sua documentação.

Encontrando-se em dia todos os registros bem como o profissional habilitado, consta-se, nos registros, que foi-se substituída a bomba de água da caldeira por motivos de que a mesma não suportou mais o trabalho em pressões elevadas, ocorrendo falha no fornecimento de vapor. Assim, instalou-se uma bomba usada, proveniente de uma caldeira desativada do mesmo modelo.

O problema, segundo os registros, ocorreu provavelmente por conta de falha na válvula de retenção, que originara um refluxo. Esta apresentava um elemento de borracha, que aquecia e aderiu no corpo superior da válvula, permitindo que o refluxo ocorresse. Substituiu-se então por um modelo da mesma bitola, com elemento em bronze. Ressaltando-se que, as caldeiras flamotubulares permitem maior aproveitamento de calor, pois utiliza-se a energia que de outro modo se perderia pelas paredes da fornalha, além de permitir maior vida ao revestimento refratário interior (FERREIRA, 2012).

Em relação aos pontos de segurança na operação de caldeiras, a Norma Regulamentadora NR 13, aponta que:

Toda caldeira deve possuir "Manual de Operação" atualizado, em língua portuguesa, em local de fácil acesso aos operadores, contendo no mínimo:

- a) procedimentos de partidas e paradas;
- b) procedimentos e parâmetros operacionais de rotina;
- c) procedimentos para situações de emergência;
- d) procedimentos gerais de segurança, saúde e de preservação do meio ambiente.

Os instrumentos e controles de caldeiras devem ser mantidos calibrados e em boas condições operacionais, constituindo condição de risco grave e iminente o emprego de artifícios que neutralizem sistemas de controle e segurança da caldeira. A qualidade da água deve ser controlada e tratamentos devem ser implementados, quando necessários para compatibilizar suas propriedades físico-químicas com os parâmetros de operação da caldeira. Toda caldeira a vapor deve estar obrigatoriamente sob operação e controle de operador de caldeira, sendo que o não atendimento a esta exigência caracteriza condição de risco grave e iminente.

A caldeira foi desativada pelo fato de ocorrer a mudança de local de atividades da empresa proprietária da mesma. Afirma-se nos registros que, quando ocorresse a reativação da caldeira, seria submetida à uma nova inspeção de segurança. Desta forma foi aberta uma nova ata de registros de segurança para a caldeira, contendo novamente informações que visam esclarecer que toda e qualquer ocorrência seria registrada por meio de descrição, desenhos, fotografias, folha de cálculo, registros de instrumentos, radiografias ou outros. Neste mesmo registro, informa-se que a caldeira foi transferida de local, desativada, mas que foi instalada novamente e fizeram-se revisões, realizadas em virtude da ineficácia da

caldeira. Ao mesmo tempo em que a bomba da mesma foi trocada, as seguintes manutenções foram feitas:

- Abertura da tampa superior de exaustão dos gases para limpeza da tubulação, com desmontagem das palhetas e remoção das fuligens;
- Substituição dos eletrodos do queimador;
- Troca do filtro de combustível;
- Troca das mangueiras de combustível;
- Troca das juntas de vedação;
- Avaliação das soldas e repinturas com tinta anticorrosiva resistente à alta temperatura;
- Troca de registros da purga e controle de nível;
- Testes de desligamento de pressostatos;
- Limpeza química com Hidróxido de Sódio (NaOH).

Assim, conforme o Teste de Pressão Hidrostática: Pressão de abertura da válvula de segurança = $9,00\text{kgf/cm}^2$ ($882,59\text{ KN/m}^2$). E, a Regulagem do Pressostato: Pressão de Desligamento = $4,50\text{kgf/cm}^2$ ($441,29\text{ KN/m}^2$) e Diferencial = $1,50\text{kgf/cm}^2$ ($147,10\text{ KN/m}^2$). Também foi instalado um dosador automático para tratamento de água da caldeira, a bomba dosadora instalada foi a Etatron, modelo PKX-MA/AL. As frequências dos pulsos da bomba foram ajustadas conforme a necessidade da adição de produtos químicos indicados pela empresa responsável pela análise. Para isso, o produto químico indicado pela Hidroquímica Tratamento de Águas Industriais é o WH-81. Orientou-se, desta forma, o operador da caldeira para que realizasse três purgas de fundo e uma purga de nível diária para descarte dos sais precipitados pela ação do produto químico.

Após este processo, foi realizada uma manutenção preventiva, com limpeza da câmara principal e remoção de incrustações e material precipitado. Verificou-se a corrosão dos parafusos da porta de inspeção que foram substituídos para eliminação de vazamentos. A limpeza do queimador foi realizada e coletou-se cerca de 300g de fuligem. Também regulou-se a pressão de trabalho para $8,00\text{ kgf/cm}^2$ ($784,53\text{ KN/m}^2$) e diferencial de $3,00\text{kgf/cm}^2$ ($294,20\text{ KN/m}^2$).

4.1.2 RESOLUÇÕES DOS DEFEITOS DA CALDEIRA

A partir deste momento far-se-á um estudo teórico e prático, correlacionando todos os problemas da caldeira, buscando englobar todos os pontos citados no item anterior e a importância deles, bem como a resolução dos mesmos, pretendendo cumprir o objetivo deste trabalho que é analisar e indicar as soluções para a ineficácia de uma caldeira flamotubular de uma indústria têxtil. Em relação às atividades com caldeiras, atualmente utilizam-se como parâmetros de segurança a Norma Regulamentadora 13, que segue em vigência desde o ano de 1978:

Relaciona-se a um caráter preventivo de danos ao ser humano e às instalações, requerendo inspeções, instalações de dispositivos de segurança, identificações, registros e documentos, treinamentos e qualificações, manutenções e profissionais habilitados, entre outros, e com o objetivo principal de condicionar inspeções de segurança e operação de vasos de pressão e caldeiras (ALBERICH, 2013, p.14).

Segundo Telles (1990), a falha e/ou paralisação de qualquer equipamento dentro de uma empresa resulta em grandes prejuízos, como perda de produção, lucros cessantes, entre outros. Sendo assim, percebe-se neste momento a necessidade da segurança, bem como a boa funcionalidade e desempenho dos equipamentos utilizados. Ressaltando-se que a norma regulamentadora nº 13 estabelece os requisitos mínimos para gestão da integridade estrutural de caldeiras a vapor, vasos de pressão e suas tubulações de interligação nos aspectos relacionados à instalação, inspeção, operação e manutenção, visando à segurança e à saúde dos trabalhadores. A NR-13 é uma norma de caráter compulsório, tem força de lei e visa a proteção do trabalhador. Sua utilização é obrigatória para toda entidade e/ou instalação existente em território brasileiro. Ela estabelece responsabilidades e parâmetros relativos à instalação, segurança de operação, segurança na manutenção e inspeção de segurança de caldeiras e vasos de pressão. Pesquisas demonstram que a maior frequência de acidentes por falha ou falta de válvulas de segurança tem ocorrido em tubulações pressurizadas. Os vasos de pressão aparecem em segundo lugar e finalmente as caldeiras em terceiro (SIT, 2006).

A caldeira começou a apresentar ineficácia, desta forma foi trocada a bomba da mesma, colocando-se esta que segue na Figura 3, sendo a bomba ilustrada na imagem A e as especificações nas imagens B e C.

Figura 3: Bomba e especificações



Junto com o problema da bomba foi constatado uma falha na placa de acionamento da injeção. Além disso, a norma regulamentadora nº 13 estabelece que os equipamentos referenciados nesta pesquisa devem ser submetidos às inspeções previstas em códigos e normas nacionais ou internacionais a eles relacionados. Segue a Figura 4, sendo conseqüentemente substituída por uma nova apresentada na Figura 5.

Figura 4: Placa com defeito

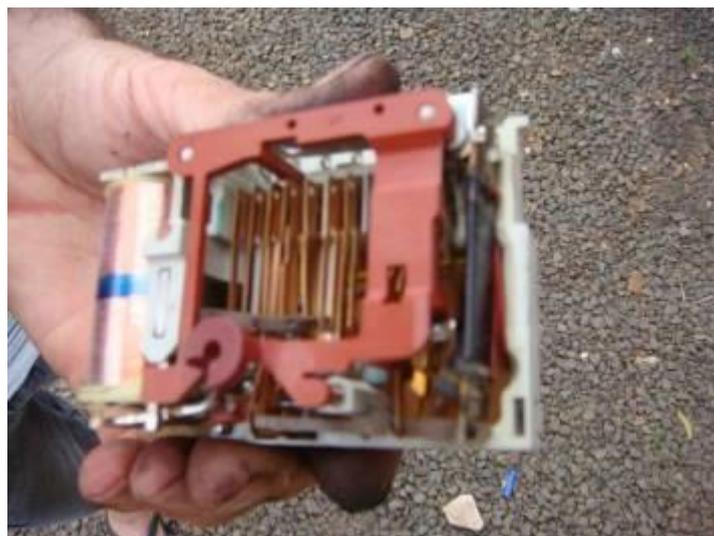
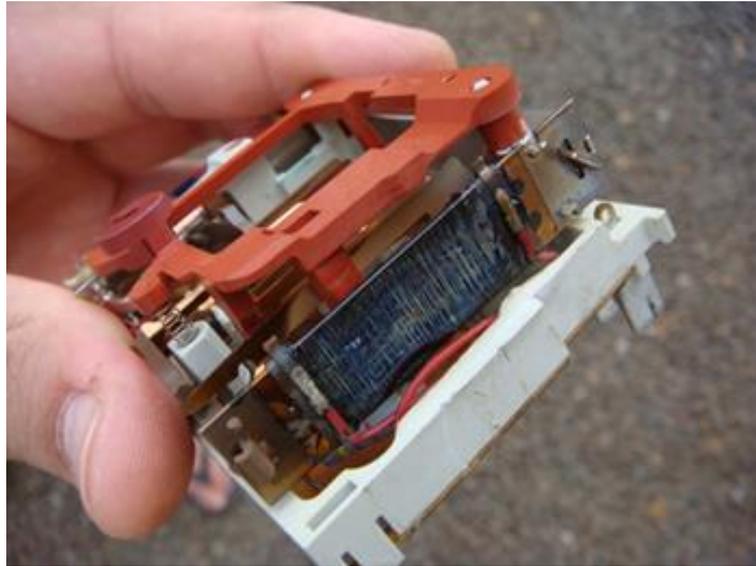


Figura 5: Placa nova



Conforme Campos (2006), as falhas que ocorrem nas caldeiras podem estar ligadas ao superaquecimento, fadiga térmica (corrosão/trincas) e ocultamento (falta da concentração de sais minerais na água), importante ressaltar que não deve-se generalizar, porém as falhas na maioria dos casos e acidentes dependem da qualificação do operador. Para o bom funcionamento do equipamento é preciso que se desempenhem as seguintes ações básicas:

- Descargas de fundo e atenção ao tratamento da água: Evitando as incrustações e conseqüentemente a baixa condutividade para a troca de calor;
- Remoção/limpeza da fuligem dos tubos: Garante melhor eficiência já que os tubos não estarão incrustados;
- Tiragem: A movimentação dos gases da entrada influencia na queima e na troca de calor;
- Utilização do condensado: Aumento da eficiência da queima. (CAMPOS, 2006, p.23)

Segundo a Norma Regulamentadora 13, constitui risco grave e iminente a falta de qualquer um dos seguintes itens: válvula de segurança com pressão de abertura ajustada na PMTA (Pressão máxima de trabalho admissível); instrumento que indique a pressão do vapor acumulado; injetor ou outro meio de alimentação de água, independentemente do sistema principal, em caldeiras e combustível sólido; sistema de drenagem rápida de água, com ações automáticas após acionamento pelo operador; sistema de indicação para controle do nível de água ou outro sistema que evite o superaquecimento por alimentação deficiente.

Após o ajuste citado anteriormente, foram feitas revisões no queimador, Figura 6 e substituído os eletrodos do queimador apresentados na Figura 7.

Figura 6: Queimador em estado regular



Figura 7: Eletrodos do queimador



Também foi realizada a abertura da tampa superior de exaustão dos gases para limpeza da tubulação (Figura 8), com desmontagem das palhetas e remoção das fuligens evidenciada na Figura 9, ressaltando-se que, as caldeiras verticais, segundo Martinelli (1998) apresentam uma vantagem de seu interior ser acessível para a limpeza, conseguindo, desta forma, fornecer um rendimento maior no tipo de fornalha interna. Reforçando que estes geradores são caracterizados pela passagem dos gases de combustão no interior dos tubos, carregando uma grande quantidade de água no interior de um invólucro ou casco, dentro do qual se encontram também as fornalhas, câmaras de combustão e tubos vaporizadores (DÓREA & MENDOZA, 2008).

Segundo a Norma Regulamentadora – NR 13, sobre a manutenção das caldeiras, todos os reparos ou alterações em caldeiras devem respeitar o respectivo código do projeto de construção e as prescrições do fabricante no que se refere a:

- a) materiais;
- b) procedimentos de execução;
- c) procedimentos de controle de qualidade;
- d) qualificação e certificação de pessoal.

Figura 8: Tubos de exaustão



Conforme a Norma Regulamentadora (2006), deve ser considerada como “reparo” qualquer intervenção que vise corrigir não-conformidades com relação ao projeto original. Por exemplo, reparos com solda para recompor áreas danificadas, remoção de defeitos em juntas soldadas ou no metal-base, substituição de internos ou conexões corroídas, etc. Sobre inspeções de segurança e todo o processo descrito neste trabalho, Campos (2011, p. 14), afirma que:

As caldeiras e demais equipamentos que operam sob pressões precisam ter dispositivos de segurança e devem ser submetidas regularmente a inspeções de segurança. Além disso, é dever do empregador zelar pela incolumidade física do empregado, o que implica adotar medidas preventivas, entre elas o oferecimento de cursos e treinamentos para os funcionários. A caldeira não é um simples equipamento que a qualquer detalhe signifique apenas uma parada para manutenção.

Figura 9: Palhetas internas dos tubos



Seguinte a desmontagem das palhetas para remoção de fuligens e para limpeza, é de extrema importância a qualidade da água a qual se torna um fator determinante da vida da caldeira.

Para Martinelli (1998), deve ser controlada a qualidade da água e tratamentos necessitam ser implementados para haver a compatibilização de suas propriedades físico-químicas com os parâmetros de operação da caldeira. Segundo a Norma Regulamentadora (2006), quando análises físico-químicas e resultados das inspeções apontarem problemas de depósitos excessivos, deteriorações no lado da água, corrosão e outras, deverá ser dada atenção especial a sua qualidade. Buscando assim verificar se suas características se estabelecem de acordo com as requeridas pela caldeira. Geralmente, quanto maior a pressão de operação, mais apurados deverão ser os requisitos de tratamento de água.

Como podemos ver na Figura 10 foi instalado um dosador automático para o tratamento da água da Caldeira, citado no item anterior.

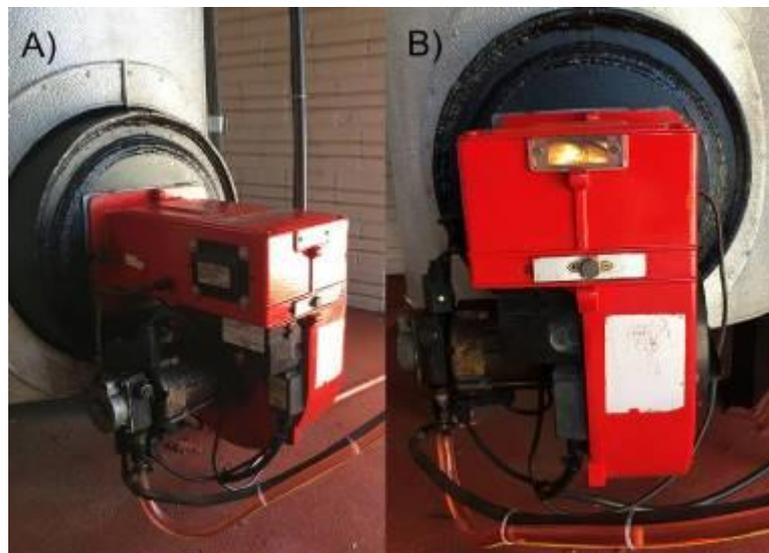
Figura 10: Tratamento de água



A quantidade de combustível não queimado e o ar em excesso são usados para definir a eficiência de combustão de um queimador. A maior parcela das perdas apresentadas por uma caldeira se dá pelos gases da combustão que são lançados pela chaminé. Se um queimador não consegue obter uma queima limpa com baixo excesso de ar, é então regulado para trabalhar com excesso de ar, sendo que este excesso de ar só abaixa a temperatura da chama e reduz a capacidade de geração da caldeira, rebaixando também drasticamente a eficiência.

Segue-se demonstração do queimador na Figura 11, imagem A e B em pleno funcionamento, após todos os ajustes realizados:

Figura 11: Queimador após ajustes



Após esta pesquisa, bem como a revisão teórico-prática dos defeitos apresentados pela caldeira e resolução dos mesmos, apresentam-se imagens da caldeira em perfeito funcionamento (Figura 13), no último mês deste estudo, enfatizando que segundo a Norma Regulamentadora, SIT (2006), é necessário que exista pelo menos um instrumento indicador da pressão do vapor acumulado como pode-se observar na Figura 14, isto pressupõe que esteja corretamente especificado, instalado e mantido. Sendo o mostrador do indicador de pressão analógico ou digital, podendo ser instalado na caldeira ou na sala de controle. Sendo assim, conforme a Norma Regulamentadora – NR 13, concomitante ao desenvolvimento desta pesquisa, a inspeção de segurança extraordinária tende a ser feita nas seguintes oportunidades:

- a) sempre que a caldeira for danificada por acidente ou outra ocorrência capaz de comprometer sua segurança;
- b) quando a caldeira for submetida à alteração ou reparo importante capaz de alterar suas condições de segurança;
- c) antes de a caldeira ser recolocada em funcionamento, quando permanecer inativa por mais de 6 (seis) meses;
- d) quando houver mudança de local de instalação da caldeira.

Figura 12: Placa de identificação



Como mostra a Figura 12, todo vaso de pressão deve ter afixado em seu corpo em local de fácil acesso e bem visível, placa de identificação indelével com, no mínimo, as seguintes informações (Norma Regulamentadora – NR 13):

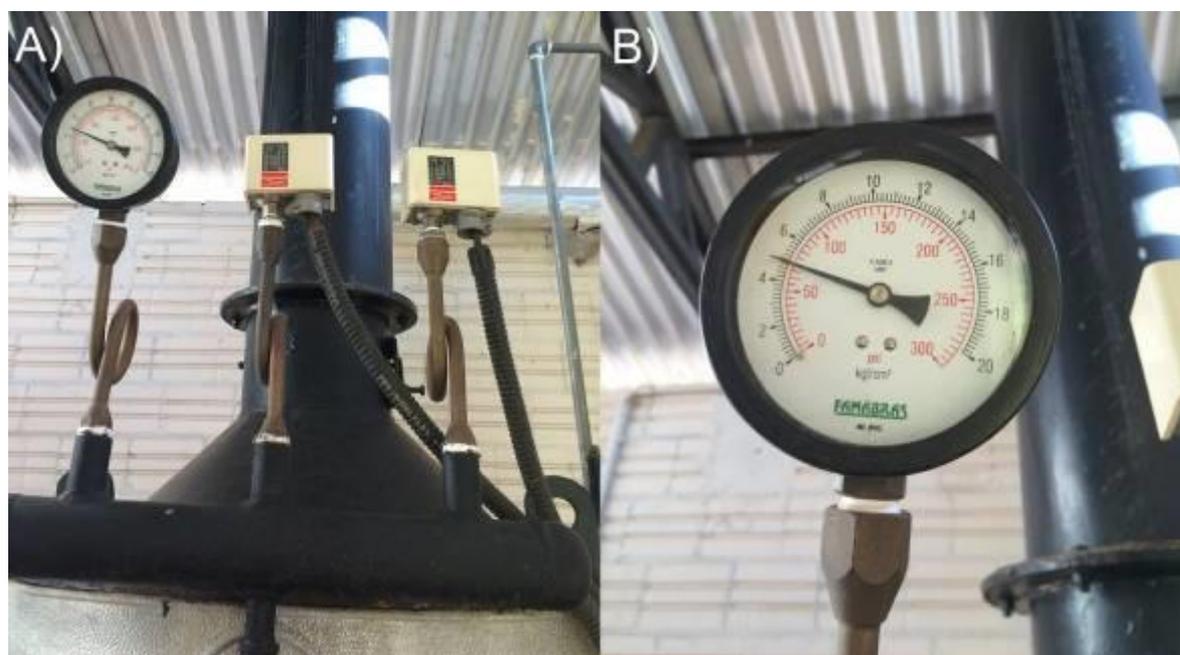
- a) fabricante;
- b) número de identificação;
- c) ano de fabricação;
- d) pressão máxima de trabalho admissível;
- e) pressão de teste hidrostático;
- f) código de projeto e ano de edição.

Figura 13: Caldeira em funcionamento



Ao iniciar o seu processo a bomba d'água da caldeira é acionada até atingir a quantidade de água adequada, sabendo que a combustão só ocorre quando se tem três fatores: o combustível, o comburente (oxigênio) e a ignição. O ventilador de ar é acionado por 10 segundos até o injetor de combustível ser ligado junto com os eletrodos fazendo a faísca para que ocorra a reação da combustão. Como pode se observar, o fogo no visor do queimador na Figura 11 imagem B. Quando a caldeira inicia o seu processo do zero ela leva cerca de 55 minutos para chegar a pressão máxima de trabalho que está regulada em 8 kgf/cm^2 ($784,53 \text{ KN/m}^2$). O diferencial da caldeira gira em torno de 3 kgf/cm^2 ($294,20 \text{ KN/m}^2$), então quando a mesma se aproximar de 5 kgf/cm^2 ($490,33 \text{ KN/m}^2$), (Figura 14, imagem A e B) ela reinicia o seu processo, levando cerca de 20 minutos para estabelecer a pressão máxima. Purgas são feitas diariamente, 6 de fundo e 3 de nível para garantir a mínima concentração de sólidos dissolvidos na água. Em sua operação máxima, operando cerca de 8 horas diárias a caldeira gasta aproximadamente 60 litros de combustível.

Figura 14: Pressão de trabalho



Através de um termômetro a laser digital e um marcador mecânico de combustível pode-se coletar dados importantes para o conhecimento do bom funcionamento da caldeira. Na Tabela 1 podemos observar os parâmetros da caldeira, que foram coletados em intervalos de 10 minutos, observando o marcador de consumo de combustível, direcionando o laser a caldeira e também aos gases da

chaminé, enquanto a mesma operava do início ao fim do seu processo. No momento das medições a caldeira estava regulada com pressão máxima de trabalho em 5 Kgf/cm² (490,33 KN/m²).

Tabela 1 - Parâmetros da Caldeira

Temp. AR (°C)	Temp. ÁGUA (°C)	Pressão (Kgf/cm ²)	Tempo (MIN.)	Consumo Comb. (L)	Temp. gases na chaminé (°C)	Temp. da Chaminé (°C)	Temp. da Caldeira (°C)
25	24	0	0	0	0	25	25
25	24	0	10	1,3	75,6	27	27
25	24	0	20	2,5	92,1	113,9	31,5
25	24	2,5	30	3,8	126,5	129,5	51,2
25	24	5	40	5,1	138,9	144	123,3

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme os objetivos deste trabalho, compreender e analisar o funcionamento, bem como, a resolução de defeitos de uma caldeira flamotubular possibilitou observar e aprender o dia-a-dia de um processo de engenharia e entender modelos teóricos que foram aprendidos na Faculdade, utilizando-os desta forma para modelar e solucionar problemas. Pôde-se compreender, desta forma, que a vida útil de uma caldeira irá depender fundamentalmente do método de trabalho realizado, do sistema de vaporização, da qualidade da água de alimentação, frequência das limpezas externas e internas, entre outros.

Outro fator importante ressaltado é a fundamental presença das documentações, normas e padrões para a boa execução de um projeto. Quando possuímos uma documentação adequada o projeto e o desenvolvimento do mesmo avançam com maior facilidade.

Não obstante à documentação, se insere neste momento a importância insignificante da Norma Regulamentadora, que dá aos operadores de máquinas e a engenheiros mecânicos, rumo e segmento para que as caldeiras possam ser devidamente e corretamente operadas, bem como a resolução de defeitos e possíveis perdas de produção da empresa na qual a caldeira está instalada.

Realizar este trabalho proporcionou momentos de estudos ampliados e esclarecedores em relação ao tema pesquisado, enfatizando como o trabalho e a renda das empresas depende muito de seus equipamentos, cabendo aos profissionais, desempenhar corretamente a sua função para que a empresa não sofra perdas consideráveis e não seja prejudicada. A presente pesquisa pode servir também enquanto modelo para novos estudos das condições de outras caldeiras presentes em indústrias, no tocante à regularidade destes importantes equipamentos com normas vigentes, contribuindo para uma diminuição dos acidentes e/ou demais prejuízos financeiros e legais. Iniciando pela prevenção de paralisações e pela economia de recursos, ao mesmo tempo em que pode reduzir os custos sociais.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Apresenta-se a seguir as sugestões para trabalhos futuros:

- Realizar melhorias relacionadas ao aproveitamento do calor gerado pela caldeira, pré-aquecendo a água de alimentação da caldeira.
- Utilizando cálculos estequiométricos descobrir a quantidade de substâncias envolvidas na reação de combustão. Com os resultados obtidos pelo balanço estequiométrico calcular as perdas de energia da caldeira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALTAFINI, Carlos Roberto. **Aspectos gerais relacionados às caldeiras**. Disponível em: <<http://www.segurancaetrabalho.com.br/download/caldeiras-apostila.pdf>> Acesso em: 16 Mai. 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Caldeiras estacionárias a vapor - Inspeção de segurança - Parte 2: Caldeiras aquotubulares. Rio de Janeiro. 1999.
- BAZZO, Edson. **Geração de Vapor**. Florianópolis. 2ª Edição - Editora da UFSC. 1995.
- BRAMBILLA, P. A. **Inspeção de Caldeiras**. Instituto Santista de Qualidade Industrial. São José do Campos, São Paulo, Brasil. 2007.
- CAMPOS, Armando; LIMA, Valter; TAVARES, José da Cunha. **Prevenção e Controle de Riscos em Máquinas, Equipamentos e Instalações**. São Paulo – SP. 4ª Edição - Editora SENAC. 2006.
- CAMPOS, Márcia A de. **Estudo das instalações e operação de caldeira e vasos de pressão de uma instituição hospitalar, sob análise da NR 13**. Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho). Curso de Pós-Graduação Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2011. Disponível em <<http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/825/1/M%C3%A1rcia%20Aparecida%20de%20Campos.pdf>> Acesso em: 20 jun. 2016.
- FERREIRA, Thales Eduardo Moura. **Dimensionamento Das Capacidades Da Caldeira A Vapor E Torre De Resfriamento Para O Sistema De Utilidades De Uma Planta Química**. Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de Lorena, 2012.
- GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4 ed. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2002. cap. 4, p.41-56.
- LAGEMANN, V.; SALLES, M. **Inspeção de caldeiras**. Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, São Paulo, Brasil. 2006.
- LEITE, Nilson Ribero; MILITÃO, Renato de Abreu. **Tipos e Aplicações de Caldeiras**. PROMINP, 2008.
- MARTINELLI Jr., L. C. **Geradores de Vapor – Recepção, Operação e Medidas de Segurança**. Cadernos UNIJUÍ, Série Tecnologia Mecânica, n.º 8, Editora Unijuí, Ijuí, 1998. Disponível em: <<http://www.saudeetrabalho.com.br/download/gera-vapor.pdf>>. Acesso em: 30 mai. 2016.
- MIGUEL, Paulo Augusto C. **Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução**. Revista Produção, v.17, nº 1. 2007.
- REIS, Carlos V. **Equipamentos Estáticos**. Apostila PETROBRAS. Editora UnicenP. Curitiba, 2002. Disponível em: <<http://docslide.com.br/documents/apostila-equipamentosest-ticos-petrobr-s.html>>. Acesso em: 30 mai. 2016.
- SASS, F.; BOUCHÉ, Ch.; LEITNER, A. **DUBBEL – Manual do Engenheiro Mecânico**. Da 13ª edição alemã, revisada e ampliada. São Paulo – SP. 4º volume. Editora HEMUS, 1979.
- TELLES, Pedro C. Silva. **Vasos de Pressão**. Rio de Janeiro. 2ª Edição atualizada [reimpressão] – Editora LTC, 2010.
- WINCK JUNIOR, João C., **Avaliação Dos Danos Por Fluência No Superaquecedor da Caldeira De CO Da Ferap S/A Segundo API STD 530**. Porto Alegre: UFRGS, 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia), programa de pós-graduação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/18286/000728071.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 6 jun. 2016.