

**UNIVERSIDADE DO SAGRADO CORAÇÃO**

**ANDERSON ALEX FEITOZA**

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICO-  
ECONÔMICA NO USO DE GÁS NATURAL E  
BIOMASSA EM CALDEIRAS**

BAURU  
2015

**ANDERSON ALEX FEITOZA**

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICO-  
ECONÔMICA NO USO DE GÁS NATURAL E  
BIOMASSA EM CALDEIRAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro de Ciências Exatas e Sociais Aplicadas da Universidade Sagrado Coração, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química, sob orientação do Prof. Dr. Herbert Duchatsch Johansen.

BAURU  
2015

F311e

Feitoza, Anderson Alex

Estudo de viabilidade técnico - econômica no uso de gás natural e biomassa em caldeiras / Anderson Alex Feitoza. -- 2015.  
63f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Herbert Duchatsch Johansen.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade do Sagrado Coração – Bauru – SP.

1. Operação de caldeiras. 2. Geração de vapor. 3. Viabilidade econômica. I. Johansen, Herbert Duchatsch. II. Título.

**ANDERSON ALEX FEITOZA**

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA NO USO DE  
GÁS NATURAL E BIOMASSA EM CALDEIRAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências Exatas e Sociais Aplicadas da Universidade do Sagrado Coração, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química, sob orientação do Prof. Dr. Herbert Duchatsch Johansen.

Banca Examinadora:

---

Prof. Dr. Herbert Duchatsch Johansen  
Universidade do Sagrado Coração

---

Profa. Esp. Raquel Teixeira Campos  
Universidade do Sagrado Coração

---

Profa. Dra. Ana Paula Cerino  
Universidade do Sagrado Coração

Bauru, 07 de dezembro de 2015.

Dedico este trabalho à minha mãe, Vera, que sofreu um grave acidente durante a elaboração deste TCC. Mas Deus com sua imensa misericórdia se lembrou de nós, poupou a vida de minha mãe, e proporcionou que continuássemos desfrutando de seu amor, de sua amizade e de seu companheirismo.

## AGRADECIMENTOS

Este é um momento único e especial. Durante a maior parte de minha vida jamais imaginei em alcançar esta realização. Meu coração se alegra grandemente. Agradeço primeiramente à Deus, por ter proporcionado a realização deste sonho. Por não ter olhado pelo meu merecimento, mas esteve sempre ao meu lado, principalmente nos momentos difíceis, nos momentos que achei que não seria capaz, sempre apareceu com sua misericórdia me concedendo a vitória. De todo meu coração agradeço a ti, ó Deus. “A minha alma engrandece ao Senhor, E o meu espírito se alegra em Deus meu Salvador” (Lc 1, 46s).

Agradeço aos meus pais Militino e Vera que sempre me apoiaram ao longo desses 5 anos.

Agradeço à minha esposa Elisangela e meus filhos Matheus e Gabriel por terem entendido minha ausência de junto deles, durante as noites de aula. Agradeço à todos meus familiares, principalmente meu irmão Anselmo, meus tios Messias e Valdirene, Roberto e Zeca, minha tia Carmelita, à todos meus primos, principalmente o Fernando, por terem participado da formação intelectual da pessoa que sou.

Agradeço à meu amigo Fabio Galindo que sempre se dispôs a me ajudar em tudo que precisei, mostrando companheirismo e camaradagem em todos os momentos.

Agradeço à toda minha turma de Engenharia Química, em especial ao Pedro Soares, Rodrigo Munhoz, Diego Chiquetti, Natan Mascarenhas, Deivid Monteiro, Rafael Terezan e Alexandre Braz, pelos momentos de alegria e dificuldade que passamos juntos.

Agradeço à todos os professores que tive ao longo da graduação pelo aprendizado.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Herbert Duchatsch Johansen, pela disposição, pelas correções e pelo conhecimento adquirido.

“A educação tem raízes amargas,  
mas os seus frutos são doces.”  
(ARISTÓTELES).

## RESUMO

As caldeiras são alguns dos equipamentos industriais mais custosos para serem mantidos em operação. Por isso a escolha pela instalação de uma caldeira deve ser realizada detalhadamente, analisando principalmente a viabilidade econômica em relação aos tipos de combustíveis, pois o custo para produção de vapor pode variar muito dependendo da utilização de cada combustível. Além disso, é de extrema importância conhecer as condições operacionais do equipamento, analisando algumas particularidades como: controle operacional, tratamento de água, inspeções, manutenções e emissões atmosféricas. Será mostrado neste trabalho cada um destes itens, com foco principal na viabilidade técnica-econômica de uma caldeira que utiliza biomassa (cavaco de madeira) em comparação a uma caldeira que utiliza gás natural como combustível. A escolha correta pela aquisição de uma caldeira pode gerar importantes vantagens econômicas para uma empresa, proporcionando seu fortalecimento e competitividade no mercado, considerando o alto custo necessário para geração de vapor em uma indústria.

**Palavras-chave:** Operação de caldeiras. Geração de vapor. Viabilidade econômica.

## **ABSTRACT**

The boilers are some of the most expensive industrial equipment to be kept in operation. So the choice for the installation of a boiler must be carried out in detail, mainly analyzing the economic feasibility in relation to the types of fuel, because the cost for steam production can vary greatly depending on the use of each fuel. However, it is extremely important to know the operating conditions of the equipment, analyzing some peculiarities as: operational control, water treatment, inspections, maintenance and emissions. It will be shown this paper each of these items, with main focus on technical and economic feasibility of a boiler that uses biomass (wood chips) in comparison to a boiler that uses natural gas like fuel. The correct choice for the purchase of a boiler can generate important economic benefits for a company, providing its strengthening and competitiveness in the market, considering the high cost required to generate steam in an industry.

**Keywords:** Boiler Operation. Steam generation. Economic viability.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Caldeira flamotubular 1 .....	16
Figura 2 - Caldeira flamotubular 2 .....	16
Figura 3 - Caldeira Aquatubular 1 .....	18
Figura 4 - Caldeira Aquatubular 2 .....	18
Figura 5 - Sistema de alimentação de água .....	19
Figura 6 - Visor de nível .....	20
Figura 7 - Válvula de Segurança 1 .....	21
Figura 8 - Válvula de Segurança 2 .....	21
Figura 9 - Soprador de Fuligem.....	22
Figura 10 - Injetores para Caldeiras .....	23
Figura 11 - Pressostatos para Caldeiras .....	24
Figura 12 - Manômetro.....	25
Figura 13 - Alimentação de Óleo Combustível .....	39
Figura 14 - Alimentação de Água .....	40
Figura 15 - Controle de Nível .....	41
Figura 16 - Controle de Combustão .....	42
Figura 17 - Controle de Pressão .....	44
Figura 18 - Caldeira de biomassa / sistema de alimentação .....	52

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Limites máximos de emissão para poluentes atmosféricos provenientes de processos de combustão a partir de óleo combustível. ....	48
Tabela 2 - Limites máximos de emissão para poluentes atmosféricos provenientes de processos de combustão a partir de gás natural .....	48
Tabela 3 - Limites máximos de emissão para poluentes atmosféricos provenientes de processos de combustão a partir de cana de açúcar.....	49
Tabela 4 - Limites máximos de emissão para poluentes atmosféricos provenientes de processos de combustão a partir de derivados de madeira...	49
Tabela 5 - Custo produção de vapor/mês. ....	53
Tabela 6 - Custo produção de vapor/mês (Biomassa). ....	54
Tabela 7 - Gastos adicionais para operação da caldeira biomassa. ....	55

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	14
2.1	OBJETIVO GERAL.....	14
2.2	OBJETIVO ESPECÍFICO .....	14
<b>3</b>	<b>CALDEIRAS</b> .....	15
3.1	CALDEIRAS FLAMOTUBULARES .....	15
3.2	CALDEIRAS AQUATUBULARES .....	17
<b>4</b>	<b>EQUIPAMENTOS DE SEGURANÇA RELACIONADOS ÀS CALDEIRAS</b> .....	19
4.1	SISTEMA DE CONTROLE DE ALIMENTAÇÃO DE ÁGUA .....	19
4.2	INDICADORES DE NÍVEL .....	19
4.3	VÁLVULAS DE SEGURANÇA .....	20
4.4	SOPRADORES DE FULIGEM .....	22
4.5	INJETORES .....	23
4.6	PRESSOSTATOS .....	24
4.7	MANÔMETROS .....	25
<b>5</b>	<b>CONTROLES DA QUALIDADE DA ÁGUA EM CALDEIRAS</b> .....	26
5.1	COMPOSIÇÃO DA ÁGUA.....	26
5.2	IMPUREZAS DA ÁGUA .....	26
5.3	CONSEQUÊNCIA DAS IMPUREZAS DA ÁGUA .....	27
5.4	INDICADORES ANALÍTICOS PARA CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO ....	27
<b>6</b>	<b>TRATAMENTO DA ÁGUA EM CALDEIRAS</b> .....	29
6.1	TRATAMENTO EXTERNO .....	29
6.1.1	CLARIFICAÇÃO .....	29
6.1.2	FILTRAÇÃO .....	30

6.1.3	ABRANDAMENTO .....	30
6.1.4	DESMINERALIZAÇÃO.....	31
6.1.5	OSMOSE REVERSA.....	31
6.1.6	DESTILAÇÃO.....	32
6.1.7	DESAERAÇÃO .....	32
<b>7</b>	<b>PROCESSO DE COMBUSTÃO.....</b>	<b>33</b>
7.1	TIPOS DE COMBUSTÃO.....	34
7.2	PODER CALORÍFICO.....	34
7.2.1	PODER CALORÍFICO SUPERIOR .....	34
7.2.2	PODER CALORÍFICO INFERIOR.....	35
7.2.3	EXCESSO DE AR NA COMBUSTÃO .....	35
<b>8</b>	<b>OPERAÇÃO DAS CALDEIRAS .....</b>	<b>36</b>
8.1	FALHAS DE OPERAÇÃO: CAUSAS E PROVIDÊNCIAS .....	38
<b>9</b>	<b>NR-13 (NORMA REGULAMENTADORA PARA CALDEIRAS E VASOS DE PRESSÃO).....</b>	<b>45</b>
9.1	INSPEÇÃO DE CALDEIRAS.....	46
<b>10</b>	<b>LIMITES DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS PARA CALDEIRAS .....</b>	<b>48</b>
<b>11</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>50</b>
11.1	INFORMAÇÕES DE OPERAÇÃO DA CALDEIRA MOVIDA À GÁS NATURAL.....	50
11.2	INFORMAÇÕES DE OPERAÇÃO DA CALDEIRA MOVIDA BIOMASSA.....	51
11.3	LEVANTAMENTO DO CUSTO PARA PRODUÇÃO DE VAPOR COM A CALDEIRA QUE OPERA COM GÁS NATURAL.....	53
11.4	LEVANTAMENTO DO CUSTO PARA PRODUÇÃO DE VAPOR COM A CALDEIRA MOVIDA À GÁS NATURAL.....	54

11.5 COMPARATIVO ECONÔMICO ENTRE A PRODUÇÃO DE VAPOR COM A CALDEIRA MOVIDA À GÁS NATURAL EM RELAÇÃO À CALDEIRA DE BIOMASSA.....	55
11.6 IMPACTOS SOCIAIS E AMBIENTAIS .....	56
<b>12 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>57</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A Engenharia está diretamente relacionada às atividades de redução de custo dentro de uma empresa. Tanto no momento do projeto de uma planta ou mesmo depois que o serviço e produção forem iniciados, a Engenharia tem papel fundamental para estudar e analisar a viabilidade ou comportamento de cada uma das operações unitárias da operação, buscando reduzir custos e evitando quaisquer gastos desnecessários, gerando produtos com qualidade e maior competitividade financeira no mercado, cooperando assim para o fortalecimento da organização. (MACINTYRE, 1997).

A otimização na operação de equipamentos de uma indústria é de grande relevância, pois pode gerar maior produtividade do ou ainda diminuir o consumo de energia. Mesmo os pequenos ajustes podem trazer grandes reduções de custo na produção, refletindo em um melhor preço do produto final. Também deve ser analisada a viabilidade de equipamentos alternativos, capazes de gerar boas reduções de consumo de combustíveis, trazendo o retorno financeiro do investimento dentro de um tempo aceitável para a empresa. (PESCINELLI, 2010).

O setor de Utilidades de uma indústria é geralmente um dos setores de maior consumo de energia. É o local da fábrica onde ficam instaladas as grandes máquinas como, por exemplo, compressores, chillers, torres de resfriamento, caldeiras entre outros equipamentos. Logicamente que o setor de Utilidades é alvo de grande atenção nas indústrias, e o objetivo da Engenharia é de tornar seus equipamentos mais produtivos e consumindo menos energia. Isto pode ser possível através de ajustes, testes para verificar as melhores condições de operação e ainda estudos visando verificar a viabilidade da troca de equipamentos por outros que resultem em maior economia.

Neste trabalho será contemplada uma descrição das caldeiras, um dos equipamentos mais importantes de um processo industrial, chamado como o “coração das fábricas”. (PESCINELLI, 2010).

As caldeiras são equipamentos com a finalidade de gerar vapor, a fim de ser utilizado em aquecimento, acionamento de turbinas, máquinas alternativas, em processos industriais, em esterilização etc. Os combustíveis responsáveis pela geração de calor no processo de geração de vapor são: óleo combustível, lenha ou

bagaço de cana, carvão, eletricidade, Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) ou gás natural. (MACINTYRE, 1997).

Caldeiras ou geradores de vapor são responsáveis pela queima dos combustíveis e a geração de energia térmica, que aumenta a temperatura da água e a converte em vapor. A eficiência das caldeiras está relacionada a quatro características: ao tipo de combustível queimado, ao sistema de combustão, ao design de construção do equipamento e ao sistema operacional de controle de vapor. (ROCCO, 2011).

É de grande relevância analisar e comparar o custo da geração do vapor em relação ao tipo de combustível utilizado, pois pode haver uma grande diferença no preço do vapor, entre os tipos de combustíveis. Pequenos ajustes no controle de combustão também podem trazer reduções de custo importantes para as empresas. (MACINTYRE, 1997).

As aplicações de técnicas e ferramentas da pesquisa operacional e áreas correlacionadas em assuntos envolvendo caldeiras industriais são recentes e têm contribuído para a economia e melhoria nos sistemas de produção de vapor. (ROCCO, 2011).

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Realizar um estudo sobre caldeiras, levantando dados e informações sobre os seus controles operacionais, manutenção e segurança na operação.

### **2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO**

Através de dados obtidos em caldeiras em uma indústria de alimentos da região de Bauru, estado de São Paulo, demonstrar o estudo comparativo de viabilidade técnico-econômica entre caldeiras com o uso de diferentes combustíveis: gás natural e biomassa (cavaco de madeira).

### 3 CALDEIRAS

A classificação dos tipos de caldeiras refere-se quanto à localização dos gases, e podem ser divididas em: flamotubulares, aquotubulares ou mistas.

#### 3.1 CALDEIRAS FLAMOTUBULARES

As caldeiras flamotubulares (também conhecidas como fogotubulares) são geradores de vapor em que os gases gerados na combustão (gases quentes) escoam pelo interior dos tubos. Nesse caso a água a ser aquecida ou vaporizada fica por fora dos tubos, na região chamada de balão da caldeira. (THAMIL, 2015).

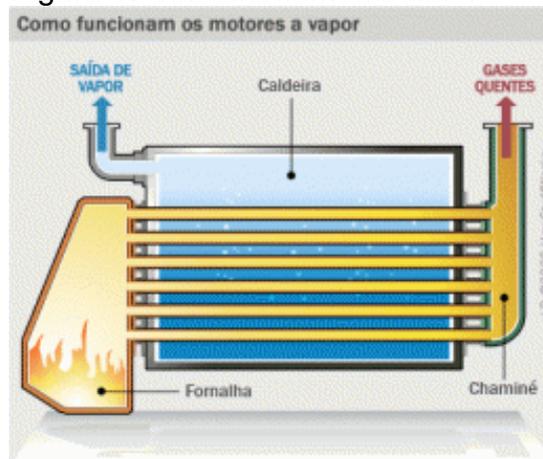
Estas caldeiras são compactas, utilizando pouco espaço físico. São utilizadas em processos onde a pressão, temperatura e vazão de vapor são relativamente pequenas. Operam com pressão de até 12 kgf/cm<sup>2</sup> com vazão de vapor de 34 ton/h. (THAMIL, 2015).

Vantagens das caldeiras flamotubulares:

- a) são caldeiras compactas, ou seja, utilizam menor espaço;
- b) são ideais para processos onde a necessidade de pressão e temperatura são menores;
- c) são versáteis, podem operar com o uso de enorme variedade de combustível;
- d) são ideais para projetos com pequena necessidade de vapor. (THAMIL, 2015).

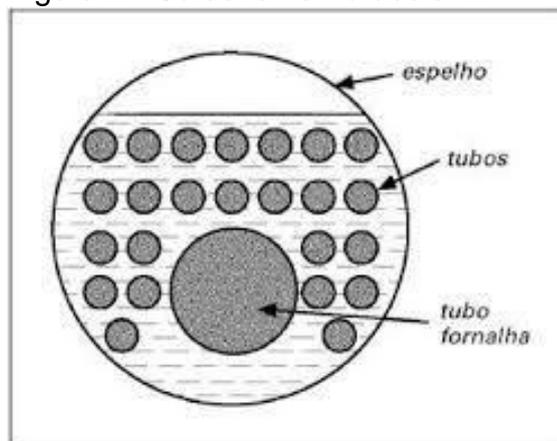
As Figuras 1 e 2 apresentam o esquema de caldeiras flamotubulares.

Figura 1: Caldeira flamotubular 1



Fonte: Tratamento...([c2006-2013]).

Figura 2 - Caldeira flamotubular 2



Fonte: Rollien et al. (2015).

Ao analisar o histórico de evolução dos geradores de vapor, verifica-se que nas caldeiras flamotubulares primitivas a superfície de aquecimento era pequena. Como consequência, uma baixa capacidade de vaporização. (THAMIL, 2015).

Pelo grande desenvolvimento dos processos industriais, foi aumentada a necessidade de caldeiras com maior capacidade de produção de vapor e menor consumo de combustível. Baseados nos princípios de transferência de calor e nas experiências obtidas com as caldeiras existentes, os fabricantes inverteram a forma de troca de calor: trocaram os tubos de fogo por tubos de água, ou seja, os tubos por onde circulavam os gases de combustão passaram a ser cheios de água. Dessa

forma os gases de combustão ficariam por fora dos tubos, aumentando assim a superfície de aquecimento. Surgiam então as caldeiras aquotubulares. (ROSA, 2005).

### 3.2 CALDEIRAS AQUATUBULARES

As caldeiras aquatubulares são classificadas devido à vaporização de água dentro dos tubos. No processo de geração de vapor das caldeiras aquatubulares, a água localizada no interior dos tubos absorve o calor dos gases de combustão que circulam pelo lado externo dos tubos. (ROSA, 2005).

As caldeiras aquatubulares são muito utilizadas em usinas termoelétricas, devido à capacidade de maior produção de vapor e alta pressão de trabalho, resultando em um maior rendimento na geração de energia. (THAMIL, 2015).

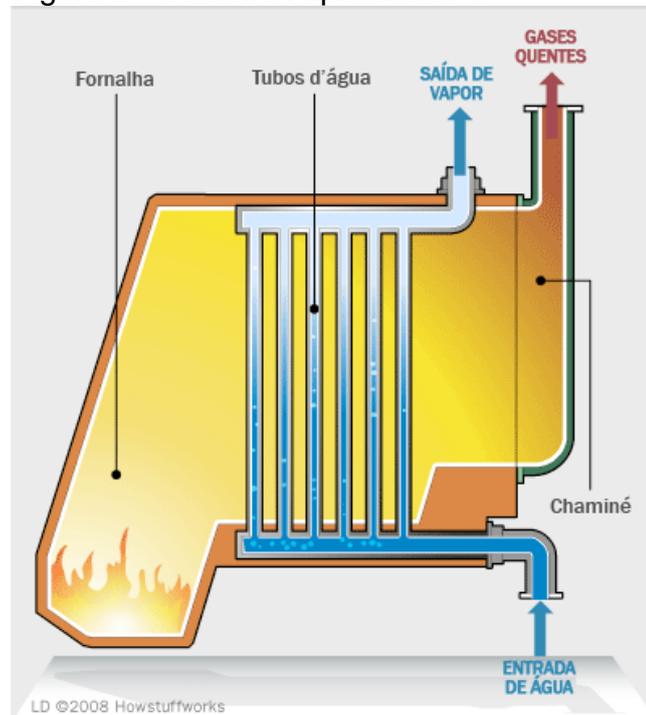
Vantagens das caldeiras aquatubulares:

- a) maior produção de vapor;
- b) permitem trabalho com altas pressões;
- c) possibilidade de trabalho em altas temperaturas;
- d) a vaporização pode ser alimentada por todos os tipos combustível, inclusive a biomassa de baixo poder calorífico e dificuldades de queima;
- e) simplificação na limpeza dos tubos, podendo ser realizada de forma automática;

Durabilidade, o tempo de vida de uma Caldeira Aquatubular pode chegar até 30 anos. (THAMIL, 2015)

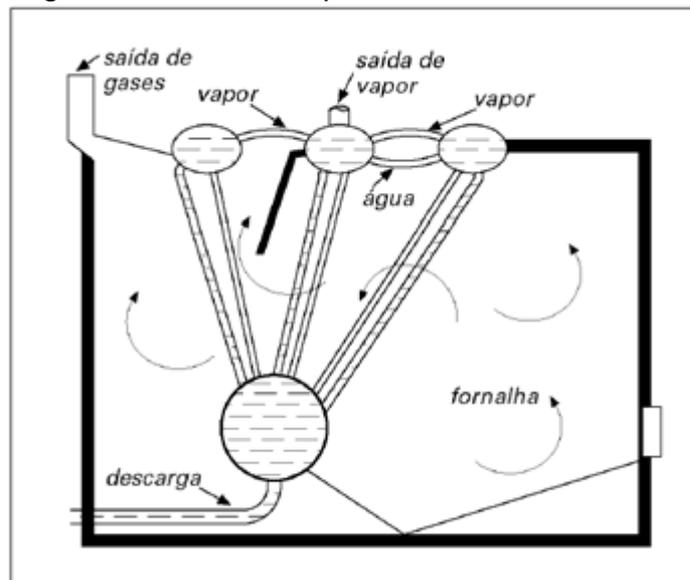
As Figuras 3 e 4 apresentam ilustrações do esquema de caldeiras aquatubulares.

Figura 3 - Caldeira Aquatubular 1



Fonte: Brain ([c1998-2014]).

Figura 4 - Caldeira Aquatubular 2



Fonte: Carvalho, ([c2006-2014])

## 4 EQUIPAMENTOS DE SEGURANÇA RELACIONADOS ÀS CALDEIRAS

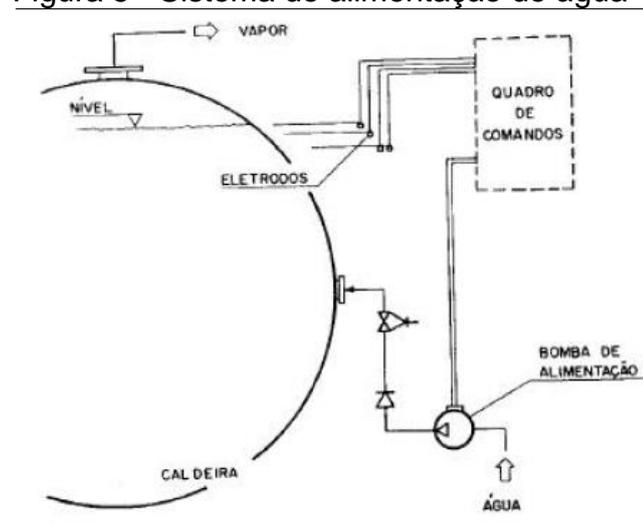
Neste capítulo serão apresentados os principais equipamentos / instrumentos necessários para que uma caldeira opere com segurança.

### 4.1 SISTEMA DE CONTROLE DE ALIMENTAÇÃO DE ÁGUA

O sistema de controle de alimentação de água tem o objetivo de realizar a reposição de água no interior da caldeira de modo automatizado, mantendo o nível dentro dos limites desejáveis. O nível da caldeira pode ser observado no visor de nível da caldeira. O sistema automático para o controle de nível mais utilizado é o controle de nível por eletrodos. Neste sistema existem dois eletrodos que ficam dentro de um acessório chamado garrafa de nível da caldeira. Um dos eletrodos é para controle do nível alto, e o outro para controle do nível baixo da caldeira. O nível da caldeira deve ser controlado entre estes dois eletrodos. Caso o nível da caldeira estiver fora dos limites dos eletrodos, o equipamento desligará automaticamente com o acionamento de alarme de “nível alto ou nível baixo”. (PESCINELLI, 2010).

A Figura 5 ilustra o sistema de controle de alimentação de água.

Figura 5 - Sistema de alimentação de água



Fonte: Amaral, ([c 2006-2013]).

### 4.2 INDICADORES DE NÍVEL

Os indicadores de nível são visores que permitem observar o nível de água dentro da caldeira. Consiste em uma placa de vidro presa em uma caixa metálica, com objetivo de dar ao operador a indicação do nível de água no interior da caldeira. (PESCINELLI, 2010).

A Figura 6 apresenta a imagem de um indicador de nível de uma caldeira

Figura 6 - Visor de nível



Fonte: Visores... ([2015]).

### 4.3 VÁLVULAS DE SEGURANÇA

As válvulas de segurança são dispositivos capazes de descarregar todo vapor gerado pela caldeira para a atmosfera, evitando assim que a pressão interna da caldeira ultrapasse a Pressão Máxima de Trabalho Admissível (PMTA). É sempre recomendado que uma caldeira tenha pelo menos duas válvulas de segurança. (ROSA, 2005).

As Figuras 7 e 8 mostram ilustrações de válvulas de segurança utilizadas em caldeiras.

Figura 7 - Válvula de Segurança 1



Fonte: Válvulas... ([2015])

Figura 8 - Válvula de Segurança 2



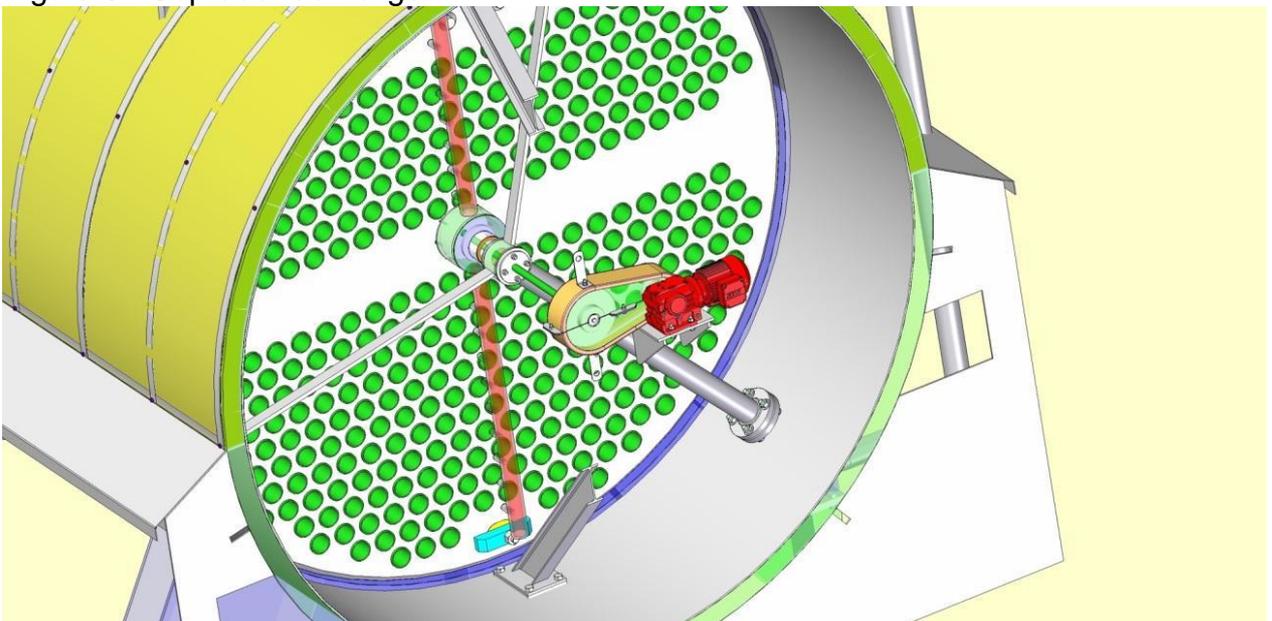
Fonte: Válvulas... ([2015])

#### 4.4 SOPRADORES DE FULIGEM

Os sopradores de fuligem normalmente são utilizados em caldeiras aquatubulares, sendo instalados em pontos estratégicos, ou seja, em pontos direcionados à parte interna dos tubos. Os sopradores tem o objetivo de remover fuligem ou depósitos de cinzas que estejam nas superfícies de aquecimento. A sopragem normalmente é realizada com o próprio vapor da caldeira. A remoção de materiais particulados das áreas de aquecimento pode melhorar significativamente o rendimento da caldeira (de 2% à 10%). (ALTAFINI, 2002).

Exemplo de um soprador de fuligem é mostrado na Figura 9.

Figura 9 - Soprador de Fuligem



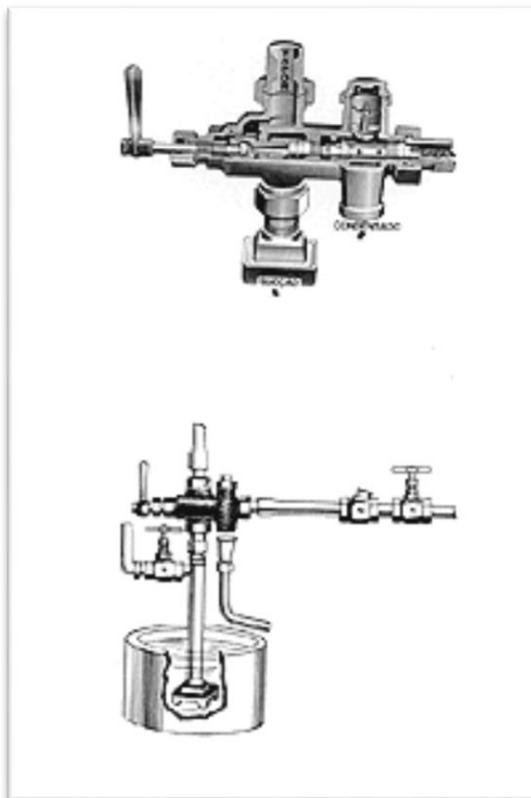
Fonte: Soprador...([c2014]).

## 4.5 INJETORES

Os injetores são dispositivos utilizados como alimentadores alternativos de alimentação de água na caldeira em casos de falta de energia. Seu princípio baseia-se no uso do próprio vapor da caldeira ou de ar comprimido, que é injetado dentro de um aparelho, onde existem cônicos divergentes e uma válvula de retenção. Quando o vapor passa pelos cônicos, ocorre a formação de vácuo, fazendo com que a válvula de retenção abra arrastando por sucção a água do reservatório para dentro da caldeira. (ALTAFINI, 2002).

A Figura 10 mostra a imagem de um injetor para caldeiras.

Figura 10 - Injetores para Caldeiras



Fonte: Injetores..., [c2001-2006].

## 4.6 PRESSOSTATOS

Os pressostatos tem objetivo de controlar a pressão da Caldeira, de modo a não permitir que ultrapasse um valor preestabelecido. Geralmente os pressostatos atuam diretamente no fechamento da válvula de entrada de combustível, interrompendo a entrada no queimador.

Quando a pressão de vapor no interior da caldeira estiver abaixo do valor de ajuste (set-point), o pressostato envia um sinal para o programador, liberando o início de processo de acendimento da caldeira. (PESCINELLI, 2010).

Figura 11 - Pressostatos para Caldeiras



Fonte: Pressostatos, (2015)

## 4.7 MANÔMETROS

Os manômetros são dispositivos muito importantes na operação da caldeira. Devem estar instalados diretamente no espaço ocupado pelo vapor. O conhecimento da pressão de uma Caldeira em operação é obrigatório, não somente pelo ponto de vista de segurança, mas também para uma operação mais econômica, visto que quanto maior for à pressão da caldeira, é necessária a aplicação de mais combustível. (PESCINELLI, 2010).

A Figura 12 apresenta a imagem de manômetros para caldeiras.

Figura 12 - Manômetro



Fonte: Manômetros...(2014).

## 5 CONTROLES DA QUALIDADE DA ÁGUA EM CALDEIRAS

Para que a caldeira tenham um funcionamento adequado e um maior tempo de vida útil, é preciso que se tenha cuidado em relação à água de alimentação. Isso porque a água contém impurezas, como matéria orgânica, cargas minerais em suspensão ou dissolvidas e gases. Assim, uma água que talvez tenha boas características para uso doméstico ou para alguns processos industriais, pode não ser adequada para utilização em caldeiras. (PESCINELLI, 2010).

### 5.1 CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA

A água é um excelente meio de transferência de calor, para processos, tanto de aquecimento como também de resfriamento. A água na sua forma líquida é encontrada na natureza nas seguintes condições:

- a) águas de superfície (mares, rios, lagos e lagoas);
- b) águas subterrâneas.

As águas superficiais apresentam maior instabilidade, contendo altos teores de STD (Sólidos Totais Dissolvidos) e SS (Sólidos Suspensos), além de elevados teores de matéria orgânica. (PESCINELLI, 2010).

As águas subterrâneas apresentam maior estabilidade, com menores concentrações de sólidos em suspensão e matéria orgânica.

### 5.2 IMPUREZAS DA ÁGUA

Várias substâncias podem estar dissolvidas na água. Isso depende muito da origem de captação. As principais impurezas presentes na água e que podem afetar o bom funcionamento da caldeira são: sulfatos, sílica, cloretos, ferro, gás carbônico, amônia, gás sulfídrico, oxigênio dissolvido, etc. (PESCINELLI, 2010).

### 5.3 CONSEQUÊNCIA DAS IMPUREZAS DA ÁGUA

A água é fundamental para o funcionamento de uma caldeira. Por isso é de extrema importância que seja realizado um tratamento na mesma, para remoção das impurezas existentes. Quando o tratamento da água da Caldeira não é realizado de maneira adequada, poderão ocorrer graves consequências para o equipamento como: incrustação, corrosão e arraste. (PESCINELLI, 2010).

### 5.4 INDICADORES ANALÍTICOS PARA CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO

Há vários indicadores que estabelecem as condições para utilização de uma determinada água para Caldeira. Segue abaixo os mais importantes:

- a) pH;
- b) alcalinidade;
- c) condutividade;
- d) solubilidade;
- e) dureza.

#### Grau de acidez

O pH indica o grau de alcalinidade ou acidez da solução. Deve haver o controle rigoroso deste parâmetro, pois é um indicador de deposição ou dispersão dos sais da água de alimentação da caldeira. (ALTAFINI, 2002).

#### Alcalinidade

A Alcalinidade é a capacidade de tornar neutro um ácido. A água permite a neutralização ou diminuição de suas características ácidas. O controle inadequado da Alcalinidade poderá causar incrustação, liberação de CO<sub>2</sub>, além de formação de espuma no interior da caldeira. (ALTAFINI, 2002).

## Condutividade

Condutividade é capacidade (da água) de conduzir energia elétrica. A água sem concentrações de sais não é uma boa condutora de eletricidade, porém se houver sais ou outras matérias dissolvidas nela, sua capacidade de conduzir corrente elétrica aumenta. O controle da condutividade dentro de valores adequados indica que a água de alimentação da caldeira se encontra com concentrações de sais apropriados para operação. (PESCINELLI, 2010).

## Solubilidade

A Solubilidade é a capacidade de uma substância se dissolver em outra substância. Impurezas encontradas na água podem ter seu grau de solubilidade alterado, dependendo de alguns fatores como: pH, temperatura, pressão. (PESCINELLI, 2010).

O aumento do pH reduz a solubilidade de impurezas (sais) que contribuem para os problemas de tratamento de água. A redução do pH aumenta a solubilidade da maior parte dos solutos na água, com exceção da sílica que é solúvel na água da caldeira em pH mais elevado (entre 10,5 à 12). (PESCINELLI, 2010).

Temperatura: comumente o aumento da temperatura aumenta a solubilidade dos sólidos dissolvidos. Porém alguns sais apresentam efeito inverso quando a temperatura se eleva, como os sais de cálcio, magnésio, ferro, manganês e sílica. (PESCINELLI, 2010).

Pressão: a solubilidade dos gases aumenta com o aumento da pressão. Porém os sólidos existentes na solução não apresentam nenhuma alteração em relação à solubilidade. (PESCINELLI, 2010)

## Dureza

A dureza é a característica da água em conter quantidades de íons cálcio e magnésio. Estes íons têm tendência de formar de incrustação em trocadores de calor, provocando a deficiência na troca de calor entre os gases de combustão e a água da caldeira. (ALTAFINI, 2002).

## 6 TRATAMENTO DA ÁGUA EM CALDEIRAS

Muitos fatores influenciam na determinação do sistema de tratamento da água para Caldeiras. Ex: característica da água, pressão da Caldeira, finalidade do vapor, média de produção do vapor, tipo de Caldeira etc.

Após a consideração dos fatores acima, são então determinados os tratamentos externo e interno da água da Caldeira. (ALTAFINI, 2002).

### 6.1 TRATAMENTO EXTERNO

Tratamento externo é o tratamento realizado na água antes que ela entre na caldeira. Para determinar como será este tratamento, depende de como se encontra as condições da água bruta. Se a água apresentar uma grande quantidade de partículas sólidas visíveis, é recomendado um sistema de clarificação e filtragem. Normalmente a água com essas características é captada em rios. São conhecidos como métodos externos para tratamento de água para caldeiras:

- a) clarificação;
- b) filtração;
- c) abrandamento;
- d) desmineralização;
- e) osmose reverse;
- f) destilação;
- g) desaeração.

#### 6.1.1 CLARIFICAÇÃO

A Clarificação inclui três processos diferentes que exigem certos requisitos para assegurar uma boa qualidade da água. São eles: Coagulação, Flocculação e Decantação. (ALTAFINI, 2002).

1. Coagulação: processo no qual se obtém equilíbrio das cargas elétricas, através da mistura de um produto coagulante (com carga iônica contrária à da água que será tratada). Depois das cargas estarem equilibradas, é possível a aglomeração formando flocos. (PESCINELLI, 2010).

2. Floculação: é a formação de vários flocos pequenos, mediante agitação branda, formando partículas maiores. É importante que a agitação seja controlada para evitar a desintegração dos flocos. (PESCINELLI, 2010).

3. Decantação: é a última etapa do processo de Clarificação. A medida que os flocos vão se decantando, a água limpa eleva-se e pode ser então separada. Os flocos decantados são removidos como lodo. (PESCINELLI, 2010).

### 6.1.2 FILTRAÇÃO

Depois do processo de decantação, ainda restam algumas partículas mais leves, que necessitam se separadas. Isto pode ser realizado através do processo de filtração. Os filtros são normalmente formados por camadas de pedregulhos, pedras e areia. A água passa por estes filtros, onde são retidas as partículas leves, tornando a água mais adequada para utilização nas caldeiras. (PESCINELLI, 2010).

### 6.1.3 ABRANDAMENTO

O Abrandamento é um método utilizado para remoção da dureza existente na água. A remoção destes sais é de extrema importância, pois eles provocam a formação de incrustação no interior da caldeira. Isso pode acarretar sérios problemas, como, maior consumo de combustível e ruptura dos tubos do gerador de vapor. (ALTAFINI, 2002).

O abrandamento da água é realizado por equipamentos chamados abrandadores. O processo mais utilizado para remoção da dureza através de um abrandador é o de troca iônica. Este processo é constituído pela troca de íons representada por substâncias sólidas e insolúveis, chamadas de resinas. Quando em contato com água contendo dureza, ocorre a troca de íons de sua própria estrutura com íons do meio, sem que ocorram alterações e suas características estruturais. (ALTAFINI, 2002).

Após um tempo de operação das resinas, ocorre a saturação das mesmas. O estado inicial das resinas pode ser novamente alcançado através de um processo denominado regeneração. A regeneração é normalmente realizada com soluções de

cloreto de sódio NaCl ou ácido sulfúrico H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Estas soluções passam pelo leito de resinas realizando a remoção da saturação, tornando a resina novamente apropriada para utilização. Após a passagem das soluções regenerativas (cloreto de sódio ou ácido sulfúrico), é necessário realizar uma lavagem com água bruta no leito de resinas para remover o excesso da solução de regeneração. (ALTAFINI, 2002).

#### 6.1.4 DESMINERALIZAÇÃO

Neste processo a água passa por leitos catiônicos e leitos aniônicos. Dessa forma ocorre a remoção de cátions e de ânions da água, tornando-a praticamente pura. Existem vários equipamentos dimensionados para realização da desmineralização. As diferenciações dependem da qualidade da água que se deseja alcançar. Em alguns equipamentos as resinas catiônicas e as resinas aniônicas são misturadas em um único leito, chamado de leito misto.

Como descrito anteriormente no processo de abrandamento, as resinas catiônicas são regeneradas através de soluções de NaCl e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. As resinas aniônicas são regeneradas através de soluções de soda caustica (NaOH) ou hidróxido de amônio (NH<sub>4</sub>OH). Estas soluções regenerativas atuam liberando íons hidroxila para as resinas. (PESCINELLI, 2010).

#### 6.1.5 OSMOSE REVERSA

Baseia-se um processo no qual a água passa por um sistema de filtros de carvão e areia, para remoção de partículas maiores. Após passar por estes filtros a água passa por cilindros denominados permeadores, onde os sais dissolvidos são retidos por membranas. (PESCINELLI, 2010).

### 6.1.6 DESTILAÇÃO

A destilação é utilizada quando se pretende obter uma água com elevado teor de pureza. Por motivos econômicos este processo se torna limitado, sendo geralmente utilizados somente em laboratórios para pequenas vazões. (PESCINELLI, 2010).

### 6.1.7 DESAERAÇÃO

A desaeração é um método utilizado para remoção dos gases dissolvidos (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, etc). Este processo baseia-se no fato de que a solubilidade de um gás em um líquido é inversamente proporcional à sua temperatura. Para realização deste procedimento é necessário pulverizar a água, para aumentar sua superfície de contato com o vapor, gerando o desprendimento dos gases, que são purgados do desaerador por um respiro, que precisa ficar sempre aberto. (PESCINELLI, 2010).

## 7 PROCESSO DE COMBUSTÃO

O processo de combustão é uma das formas mais usuais para geração de calor. Para que ocorra corretamente, é necessária uma mistura adequada de um combustível e do comburente (geralmente ar atmosférico).

O combustível pode ser definido como um material utilizado para produzir calor mediante o processo de combustão, ou seja, um material que alimenta o fogo. Os combustíveis utilizados para geração de vapor podem ser sólidos, líquidos ou gasosos, dependendo da sua disponibilidade e viabilidade econômica. (PESCINELLI, 2010).

Os primeiros combustíveis a serem utilizados foram os sólidos. Alguns exemplos de combustíveis sólidos são: lenha, carvão e bagaço de cana. Os combustíveis líquidos na sua grande maioria são derivados do petróleo, classificados como óleo BPF (Baixo Ponto de Fulgor) e óleo diesel. (PESCINELLI, 2010).

A propriedade mais relevante em relação aos combustíveis líquidos é a viscosidade, que é controlada pela temperatura. Quanto maior for a viscosidade do líquido, maior precisa ser a temperatura para alcançar a viscosidade ideal. Os combustíveis líquidos ou gasosos, basicamente são formados por hidrocarbonetos, porém alguns também apresentam enxofre (S) e oxigênio (O). (PESCINELLI, 2010).

No processo de combustão, o gás oxigênio ( $O_2$ ) é conhecido como comburente, isto é, uma substância que produz ou auxilia a combustão. Normalmente o oxigênio utilizado em processos de combustão, é o próprio gás oxigênio existente no ar (por razões econômicas). O gás oxigênio existente no ar atmosférico corresponde à aproximadamente 21%. O restante é composto basicamente pelo gás nitrogênio ( $N_2$ ), que não participa da reação de combustão. (PESCINELLI, 2010).

## 7.1 TIPOS DE COMBUSTÃO

Combustão completa: é alcançada a máxima geração de energia, e os gases gerados nesse processo são bem menos nocivos ao meio ambiente. São gerado dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e vapor de água ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Esta reação ocorre quando há fornecimento suficiente de oxigênio. Dependendo das características do combustível, a geração de materiais particulados é praticamente nula (gás natural e óleo diesel, por exemplo). (PESCINELLI, 2010).

Combustão incompleta: ocorre a geração de monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ), fuligem (também conhecido como negro de fumo) vapor de água ( $\text{H}_2\text{O}$ ). A geração de  $\text{CO}$  e  $\text{C}$  são prejudiciais à saúde. Além disso, reduz o rendimento da combustão, conseqüentemente a redução da quantidade da energia gerada na combustão. Este tipo de combustão acontece quando o fornecimento de oxigênio é insuficiente. (PESCINELLI, 2010).

## 7.2 PODER CALORÍFICO

O poder calorífico de combustíveis é definido como a quantidade de energia interna contida no combustível. Assim, quanto mais alto for o poder calorífico do combustível, maior será a energia contida no mesmo. (PESCINELLI, 2010).

### 7.2.1 PODER CALORÍFICO SUPERIOR

É a quantidade de calor produzida por 1 kg de combustível, quando este passa pelo processo de combustão, em excesso de ar, e os gases da descarga são resfriados de modo que o vapor de água neles seja condensado. (PESCINELLI, 2010).

### 7.2.2 PODER CALORÍFICO INFERIOR

É a quantidade de calor que pode produzir 1 kg de combustível, quando este entra em combustão com excesso de ar e gases de descarga são resfriados até o ponto de ebulição da água, evitando assim que a água contida na combustão seja condensada. (PESCINELLI, 2010).

### 7.2.3 EXCESSO DE AR NA COMBUSTÃO

Para se alcançar o melhor rendimento em relação ao processo e combustão, é necessário que seja realizado o controle de entrada de ar, de forma que seja uma relação exata com o combustível, a fim de que todo o combustível seja consumido (queimado).

Para garantir que todo combustível seja consumido pela reação de combustão, é necessário trabalhar em condições de excesso de ar na combustão. Porém isso deve ser realizado de maneira controlada, porque um alto valor de excesso de ar representa um volume extra a ser aquecido, ou seja, diminui o aproveitamento energético e esfria a chama da combustão.

Por exemplo: um queimador que opera com ar de combustão com 105% tem 5% de excesso de ar em relação à quantidade estequiométrica. O valor indicado para excesso de ar na operação de caldeiras é entre 2,5% à 7%. Existem equipamentos medidores de excesso de ar, que são instalados na saída dos gases de combustão das Caldeiras para monitorar e controlar este parâmetro. (PESCINELLI, 2010).

## 8 OPERAÇÃO DAS CALDEIRAS

A operação das caldeiras prevê os procedimentos de parada e partida, bem como todos os demais procedimentos e monitoramentos realizados no dia a dia, para que o equipamento opere de maneira eficiente e segura.

Assim, deverá ser realizado um Manual de Trabalho para o operador, para que ele tenha uma instrução de como agir ou proceder em cada procedimento que for realizado no equipamento. (ALTAFINI, 2002).

Abaixo são listadas algumas das principais verificações que precisam ser realizadas antes da partida de uma caldeira:

- a) Verificar o nível do tanque de alimentação da caldeira;
- b) Verificação e realização do alinhamento do sistema de abastecimento da caldeira;
- c) Verificação geral das válvulas e demais instrumentos das Caldeiras;
- d) Verificação dos indicadores e controladores de nível (garrafa e visor);
- e) Ajuste do nível de água da caldeira em condições de operação;
- f) Verificação das condições operacionais dos ventiladores e sistema de tiragem da caldeira;
- g) Verificação da quantidade de combustível para partida e manutenção do equipamento ligado;
- h) Verificação do funcionamento do mecanismo para alimentação de combustível. (PESCINELLI, 2010).

Abaixo são também listados os principais procedimentos para partida de uma caldeira:

- a) Ventilação ou purga da fornalha para garantir a eliminação total dos gases no interior da fornalha;
- b) Verificação se os valores de pressão e temperatura dos combustíveis são ideais para realizar o acendimento (para caldeiras à óleo ou gás natural);
- c) Acendimento do queimador;

- d) Para caldeiras com mais de um queimador, a sequência de acendimento recomendada pelo fabricante deverá ser obedecida;
- e) Ajuste das condições de queima, garantindo estabilidade na chama;
- f) Verificação de quaisquer anormalidades nos equipamentos e instrumentos indicadores de controle, tomando as devidas medidas para os ajustes necessários;
- g) Passagem do controle da caldeira para “Automático”, assim que o parâmetro de pressão atingir o valor preestabelecido de trabalho;
- h) Depois de atingida a pressão de operação, abrir a válvula principal de saída de vapor. (PESCINELLI, 2010).

Após os procedimentos de partida da caldeira, depois que o equipamento estiver em operação alguns parâmetros necessitam ser controlados continuamente, visando maior rendimento e estabilidade na operação. Segue abaixo os principais:

- a) Controle de temperatura do ar: é realizado através do pré-aquecedor ou economizador da caldeira, com objetivo de melhorar o rendimento em relação à combustão;
- b) Controle de temperatura dos gases de combustão: é realizado com objetivo de detectar a emissão de altas temperaturas na saída dos gases de combustão. Quando esta temperatura se encontra elevada pode estar ocorrendo alguma anormalidade em relação à operação da caldeira. Como exemplo: sujeiras nos tubos, ou seja, deficiência de troca térmica, excesso de ar na fornalha, gerando velocidade alta dos gases, problema com a geometria da chama (tamanho da chama maior que o aceitável).
- c) Controle da temperatura da água de alimentação: tem a finalidade de garantir uma faixa ideal para otimização da vaporização da água na caldeira. Pode ser realizado através de Economizador (equipamento que realiza a troca de calor entre os gases de combustão com a água de entrada na caldeira). (PESCINELLI, 2010).

## 8.1 FALHAS DE OPERAÇÃO: CAUSAS E PROVIDÊNCIAS

Em geral, as caldeiras possuem vários instrumentos para garantir o bom funcionamento e operação. Quando estes instrumentos ou equipamentos apresentam algum problema, nem sempre é tão fácil corrigir o desvio. (PESCINELLI, 2010).

Os principais problemas relacionados à operação de uma caldeira são:

- a) sistema de alimentação de combustível;
- b) sistema de alimentação de água;
- c) controle de nível;
- d) controle de combustão;
- e) controle de pressão. (PESCINELLI, 2010).

As figuras 13, 14, 15, 16 e 17 mostram os principais tipos de problemas, suas prováveis causas e também as providências que deverão ser tomadas pelo operador de caldeira ou pelo mecânico responsável:

Figura 13 - Alimentação de Óleo Combustível

Alimentação de óleo combustível		
Defeitos	Causas prováveis	Providências
A bomba de óleo pesado não funciona	Defeito no sistema de comando elétrico	Ler as instruções de manutenção do equipamento
A bomba não fornece pressão ou pressão insuficiente	Defeito no circuito do óleo combustível	Pesquisar no manual o capítulo referente ao sistema automático de combustão, no item "manômetro de pressão não registra pressão"
A bomba de óleo diesel não funciona	O motor não gira	Ler as instruções de manutenção
	A bomba está engripada	Desmontar a bomba e verificar estado das engrenagens. Consultar as instruções de manutenção
Temperatura alta demais	Regulagem mal feita	Corrigir a regulagem do óleo
	Válvula automática de vapor não fecha	Ler as instruções de manutenção do equipamento
Temperatura baixa demais	Válvula manual de vapor fechada	Abrir válvula
	Purgador não funciona	Examinar e trocar, se necessário
	Regulagem mal feita	Corrigir regulagem do óleo
Aquecimento elétrico não funciona	Termostato desregulado ou danificado	Verificar o termostato. Regulá-lo ou substituí-lo
	Fusíveis queimados	Verificar e trocar
	Bobina da chave queimada	Trocar bobina
	Corrente não chega na bobina da chave eletromagnética	Examinar o circuito elétrico e verificar funcionamento da chave
	Resistência queimada	Trocar resistência
Aquecimento à vapor não funciona	Válvula de vapor fechada	Abrir válvula
	Purgador não funciona	Examinar e trocar, se necessário
	O termostato ou válvula solenóide do aquecedor desregulada ou danificada	Verificar o estado do termostato ou da válvula

Fonte: Piscinelli (2010).

Nota: Adaptado pelo Autor.

Figura 14 - Alimentação de Água

Alimentação de água		
Defeitos	Causas prováveis	Providências
A bomba não recalca ou recalca água insuficiente	Ar na sucção	Purgar o ar da bomba e verificar se não há entrada de ar pelas conexões da rede
	Filtro de água sujo	Limpar o filtro
	Válvula fechada na sucção ou no recalque	Verificar se há alguma válvula fechada na rede de água
	Cavitação	A instalação para água quente está incorreta, causando vaporização na sucção. Verificar instalação
	Válvula de retenção dando passagem	Verificar ajuste da válvula ou se há partículas sólidas na rede
	Bomba com capacidade inferior exigida pela Caldeira	Verificar projeto da Caldeira e redimensionar bomba
	Rotação invertida da bomba	Solicitar ao pessoal da manutenção a verificação da instalação elétrica do motor da bomba
	Válvula de descarga de fundo aberta	Verificar se as válvulas de descarga de fundo estão fechadas
	Instalação incorreta da bomba	Verificar procedimento de instalação
	Defeito mecânico da bomba	Ver instruções de manutenção
Bomba de água não funciona	Defeito no comando elétrico	Solicitar ao pessoal da manutenção a verificação do regulador de nível automático ou da chave eletromagnética
A bomba enche a Caldeira de água e não para automaticamente	Eletrodos do controle de nível com óleo, lama, etc	Drenar o regulador de nível por alguns segundos, repetindo a operação quantas vezes forem necessárias
	Fio do eletrodo do nível máximo está partido ou com defeito	Solicitar troca do fio ao pessoal da manutenção
	Eletrodo danificado	Contatar manutenção para troca dos eletrodos
	Defeito no sistema elétrico	Solicitar manutenção especializada

Fonte: PISCINELLI (2010)

Nota: Adaptado pelo Autor.

Figura 15 - Controle de Nível

Controle de nível		
Defeitos	Causas prováveis	Providências
A bomba só liga quando soa o alarme	Imantação permanente na bobina de caixa. Alta tensão nas vizinhanças pode causar esse defeito	Blindar a caixa
A bomba não funciona, o nível baixa e o alarme soa	Depósitos nos eletrodos	Abrir totalmente a válvula de dreno reguladora de nível durante um minuto. Fecha-la em seguida e verificar se o defeito persiste
	Chave magnética da bomba desarmada ou com defeito	Ler sobre chaves magnéticas nesta lista
	Umidade na caixa dos eletrodos	Eliminar a umidade
A bomba não funciona, o nível baixa, o alarme não soa, mas a caldeira continua funcionando	Lama no regulador de nível por falta de limpeza	apagar a caldeira imediatamente se o nível estiver baixo do visor, deixar a caldeira esfriar sozinha Se ainda houver água no visor de nível acionar a bomba manualmente restabelecendo o nível Descarregar a válvula do dreno reguladora de nível até eliminar a lama. Fazer uma limpeza completa
	Oxidação nos bornes de ligação dos eletrodos	Limpar os bornes (manutenção elétrica)
A bomba funciona, mas o nível baixa	Defeito no sistema de alimentação de água	Providenciar o reparo
O nível está normal no visor de nível, porém o sistema de combustão não funciona e o alarme está soando	Defeito no regulador de nível devido à presença de lama ou óleo na água	Descarregar o regulador de nível abrindo a válvula até o fim Repetir a operação quantas vezes forem necessária
	Bobina do regulador de nível queimada (dentro do armário de controle)	Examinar a bobina na caixa de controle e troca-la
	Fio do eletrodo partido	Trocar o fio
	Transformador da caixa de controle queimado	Trocar o transformador
	Mau contato	Lixar os contatos elétricos do relê á esquerda do regulador de nível
	Sistema automático da combustão co defeito	Ver nesta lista informações sobre defeitos do sistema automático de combustão
	Registros de visor de nível fechados	Abrir os registros
	Alarme queimado	Trocar o alarme

Fonte: PISCINELLI (2010)  
Nota: Adaptado pelo Autor.

Figura 16 - Controle de Combustão

Controle de combustão		
Defeitos	Causas prováveis	Providências
O queimador não acende ou as vezes falha e o manômetro de óleo não registra a pressão	Falta de óleo no depósito de combustível para ignição	Encher o tanque, tendo cuidado de purgar o ar da sucção da bomba. Ver instruções de manutenção
	Válvula de saída do combustível para ignição	Abrir válvula
	Ar na tubulação de sucção	Manutenção mecânica
O queimador piloto não acende ou as vezes falha. A pressão registrada no manômetro de óleo é inferior a 100 ib/pol	Ar na tubulção	Manutenção mecânica
	Filtro sujo	Limpar filtro
	Atomizador de óleo diesel sujo	Limpar o furo do giclê. Não usar estopa, arame ou estilete metálico
	Eletrodos de ignição desajustados	Consultar módulo sobre manutenção
	Porcelanas partidas	Trocar as porcelanas
O sistema automatico de combustão opera o piloto acendemos o queimador principal não acende apesar de o manômetro indicar que a pressão do óleo está boa	O óleo não chega normalmente ao combustor	Verificar se o atomizador está obstruído. Limpar a peça com querosene ou solvente apropriado. Usar de preferência ar comprimido
O sistema automático de combustão opera, o piloto acende, mas o queimador principal não acende e a pressão indicada no manômetro está boa	A válvula de entrada de óleo está aberta, porém não chega óleo ao combustor	Retirar a parte interna do combustor; abrir a válvula de entrada de óleo do combustor; colocar uma lata em frente em frente a entrada de óleo do queimador; ligar a chave de comando manual. Deverá sair um jato de óleo do queimador. Se não sair, verificar se há alguma obstrução na tubulação
Apesar de a pressão indicada no manômetro de óleo ser muito baixa ou nula, o sistema automatico opera, o piloto acende, mas o combustor não acende	Tubulação fechada	Verficar se a válvula entre o depósito e a bomba está fechada
	Fitros sujos	Fazer limpeza nos filtros
	Ar na sucção da bomba	Verificar se há uma entrada de ar na canalização de sucção.
	Válvula de retorno aberta pela ação de partículas sólidas na rede	Verificar instruções da manutenção a respeito da limpeza
	Falta de óleo impede funcionamento da bomba	Verificar se o depósito de serviço está cheio

continua...

<b>Controle de combustão (continuação)</b>		
<b>O sistema de combustão opera, o piloto acende, mas o combustor principal não acende, apesar de o manômetro indicar que a pressão óleo esta boa.</b>	<b>Válvula de entrada do óleo no combustor fechada.</b>	<b>Abrir válvula.</b>
<b>A temperatura de saída dos gases da Caldeira é superior à normal.</b>	<b>Tubulação da Caldeira suja de fuligem.</b>	<b>Limpar a tubulação segundo instruções de manutenção.</b>
	<b>Tampa traseira da Caldeira mal fechada.</b>	<b>Retirar a tampa e verificar o estado dos refratários. Fazer os reparos seguindo as instruções de manutenção.</b>
<b>A fumaça na saída dos gases está mais escura que o normal.</b>	<b>Pressão de óleo elevada.</b>	<b>Verificar se válvula de retorno está colada e descolá-la. Verificar se a válvula no tubo de retorno está fechada e abri-la.</b>
	<b>Pressão do óleo oscilando por causa de ar na canalização.</b>	<b>Fechar a válvula de entrada de óleo no combustor e fazer a circulação do óleo, acionando a chave de comando manual até que o ponteiro do manômetro de pressão do óleo se estabilize.</b>
	<b>Falta de ar secundário, motivada pelas correias frouxas do ventilador.</b>	<b>Trocar as correias ou esticá-las.</b>
	<b>Registro da borboleta de ar fora do lugar.</b>	<b>Colocar o registro no lugar certo.</b>
	<b>O servo motor não abre a borboleta por que a alavanca de comando está solta.</b>	<b>Prender a alavanca de comando.</b>
	<b>Ventilador sujo.</b>	<b>Limpar o rotor e a tela de entrada, seguindo as instruções de manutenção.</b>
	<b>Caixa de ar suja.</b>	<b>Providenciar a limpeza.</b>
	<b>Temperatura do óleo alta ou baixa.</b>	<b>Ver nesta lista o item sobre o aquecedor de óleo.</b>
	<b>Baixa pressão de atomização.</b>	<b>Ver lista de defeitos no compressor.</b>
<b>Atomizador entupido.</b>	<b>Desmontar e lavar o atomizador de óleo combustível.</b>	

Fonte: PISCINELLI (2010).

Nota: Adaptado pelo Autor.

Figura 17 - Controle de Pressão

<b>Controle de pressão</b>		
<b>Defeitos</b>	<b>Causas prováveis</b>	<b>Providências</b>
<b>A pressão está acima da permitida. As válvulas de segurança e o automático de parada não funcionam.</b>	<b>Está ligada a chave de comando manual de ignição.</b>	<b>Verificar se as chaves de comando manual e de comando automático de ignição não foram ligadas ao mesmo tempo.</b>
	<b>Platinado de pressostato queimado.</b>	<b>Lixar o platinado.</b>
	<b>Pressostato com diafragma furado.</b>	<b>Trocar o pressostato.</b>
	<b>Capilar do diafragma defeituoso.</b>	<b>Tirar o pressostato e limpá-lo.</b>
	<b>Pressostato desregulado e defeituoso.</b>	<b>Regular o pressostato.</b>
<b>O gerador de vapor para de funcionar e a pressão registrada no manômetro de vapor está abaixo do nível máximo normal.</b>	<b>Defeito no manômetro.</b>	<b>Trocar o manômetro.</b>
<b>O manômetro de ar não registra pressão ou registra pressão muito baixa.</b>	<b>Defeito no compressor.</b>	<b>Ver sobre o compressor de ar.</b>
	<b>Defeito do manômetro.</b>	<b>Trocar o manômetro.</b>
	<b>Defeito no circuito de óleo.</b>	<b>Ver sobre o sistema automático de combustão.</b>
<b>O manômetro de óleo não registra pressão.</b>	<b>Defeito no circuito de óleo.</b>	<b>Verificar.</b>
	<b>Defeito no manômetro.</b>	<b>Trocar o manômetro.</b>
<b>O manômetro de vapor registra pressão inferior quando o gerador de vapor desliga automaticamente.</b>	<b>Defeito no manômetro.</b>	<b>Trocar o manômetro.</b>
<b>O manômetro de óleo oscila muito sem indicar a pressão exata.</b>	<b>Ar na tubulação de óleo.</b>	<b>Purgar o ar na tubulação e estudar o assunto referente à tubulação em que o respectivo manômetro se encontra.</b>

Fonte: PISCINELLI (2010).

Nota: Adaptado pelo Autor.

## **9 NR-13 (NORMA REGULAMENTADORA PARA CALDEIRAS E VASOS DE PRESSÃO)**

Além dos conhecimentos necessários para operação das caldeiras, é muito importante que seja dada atenção especial para a NR-13, que é a Norma Regulamentadora que define os requisitos mínimos em relação à instalação, inspeção, operação e manutenção, visando à saúde e à segurança dos trabalhadores. (NR-13, 2014).

Segundo a NR-13, caldeiras a vapor são equipamentos com a finalidade de gerar e acumular vapor em uma pressão superior à pressão atmosférica. As caldeiras são classificadas em três categorias conforme abaixo:

- a) Categoria A: são as caldeiras em que a pressão de operação é igual ou superior a 19,98 kgf/cm<sup>2</sup>;
- b) Categoria C: são as caldeiras em que a pressão de operação é igual ou inferior à 5,99 kgf/cm<sup>2</sup>;
- c) Categoria B: são as caldeiras em que a pressão de operação não se enquadra nas categorias anteriores. (NR-13, 2014).

Todas as caldeiras devem conter os seguintes:

- a) Válvula de segurança com valor de abertura ajustado para com pressão igual ou inferior à PMTA;
- b) Manômetro que indique a pressão interna da caldeira;
- c) Sistema de alimentação (injetor) independente do sistema principal, visando evitar o superaquecimento devido à alimentação deficiente;
- d) Sistema de drenagem rápida, que poderá funcionar automaticamente após acionamento do operador;
- e) Sistema de controle de nível automático, possuindo intertravamento com que evite a ocorrência de superaquecimento por alimentação deficiente. (NR-13, 2014).

As caldeiras devem ter fixadas no seu corpo, em local de fácil visualização uma placa de identificação, com o mínimo de informações conforme abaixo:

- a) Nome do fabricante;
- b) Número de ordem dado pelo fabricante da caldeira;
- c) Ano de fabricação;
- d) Pressão máxima de trabalho admissível;
- e) Pressão de teste hidrostático de fabricação;
- f) Capacidade nominal de geração de vapor;
- g) Área da superfície de aquecimento;
- h) Código do projeto e ano de edição. (NR-13, 2014).

As caldeiras deverão possuir manuais ou instrução de operação atualizada, em língua portuguesa, em local que permita acesso fácil aos operadores, com no mínimo os seguintes procedimentos:

- a) Procedimentos de partida e parada da caldeira;
- b) Procedimentos e parâmetros que deverão ser controlados e monitorados pelos operadores no seu dia a dia;
- c) Procedimentos para as tomadas de ações em caso de emergência;
- d) Procedimentos gerais de segurança, visando a integridade dos colaboradores e preservação do meio ambiente. (NR-13, 2014).

Ainda em relação à segurança na operação das caldeiras, segundo a NR-13, os instrumentos e controles para operação das caldeiras deverão ser devidamente calibrados e mantidos em bom estado. Toda caldeira deverá estar sob responsabilidade de controle e operação do operador de caldeira. (NR-13, 2014).

## 9.1 INSPEÇÃO DE CALDEIRAS

As caldeiras devem passar por inspeções de segurança antes do início de sua operação, periodicamente e também extraordinariamente. A inspeção compreende na realização de exame interno, teste de estanqueidade e exame externo. Na sua fase de fabricação, as caldeiras devem passar por teste hidrostático. (NR-13, 2014).

As inspeções periódicas devem ser realizadas de acordo com os seguintes prazos:

- a) 12 meses para caldeiras categoria A, B e C;
- b) 24 meses para caldeiras categoria A, desde que com 12 meses seja testada a abertura das válvulas de segurança (de acordo com as pressões em que foram calibradas). (NR-13, 2014).

As inspeções extraordinárias devem ser realizadas nos seguintes casos:

- a) sempre que a caldeira passar por algum incidente capaz de comprometer sua segurança;
- b) sempre que a caldeira passar por alguma modificação em sua estrutura capaz de comprometer sua segurança;
- c) antes da caldeira ser colocada em operação, no caso de permanecer inativa por mais de 6 meses;
- d) sempre que ocorrer alguma modificação no local de instalação da caldeira. (NR-13, 2014).

Todas as inspeções realizadas em caldeiras devem ser realizadas por Profissional Habilitado (engenheiro químico ou engenheiro mecânico).

O relatório de inspeção deverá conter no mínimo as seguintes informações:

- a) dados da placa de identificação da caldeira;
- b) o tipo da Caldeira;
- c) o tipo da inspeção que foi realizada;
- d) detalhamento das inspeções, exames e testes que foram realizados;
- e) registros fotográficos dos exames que foram realizados;
- f) o resultado das inspeções e as providências que foram tomadas;
- g) relação dos itens desta NR que não foram atendidos;
- h) recomendações e as providências cabíveis;
- i) parecer de conclusão em relação à integridade física da caldeira;
- j) nome legível, assinatura e número do registro no conselho profissional, do profissional habilitado e também os nomes legíveis e assinaturas de todos os técnicos que participaram da inspeção. (NR-13, 2014)

## 10 LIMITES DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS PARA CALDEIRAS

A Resolução nº 436, de 22 de dezembro 2011, complementa a resolução nº 382/2006 (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA 382/2006), que define os limites máximos para emissões atmosféricas para fontes fixas.

Segundo a Resolução 436/2011, “emissão” é: lançamento na atmosfera de material sólido, líquido ou gasoso. Para cada tipo de combustível utilizado em Caldeiras, esta Resolução define os limites máximos de emissões, de acordo com a potência térmica de cada Caldeira. As Tabelas 1, 2, 3 e 4 apresentam os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos provenientes dos processos de combustão de vários combustíveis. (CONAMA, 436/2011).

Tabela 1 - Limites máximos de emissão para poluentes atmosféricos provenientes de processos de combustão a partir de óleo combustível.

Potência térmica nominal (MW)	MP (1)	NOx (1)	SOx (1)
MW < 10	300	1600	2700
10 ≤ MW ≤ 70	255	1000	2700
MW > 70	100	1000	1800

(1) os resultados devem ser expressos na unidade de concentração mg/Nm<sup>3</sup>, em base seca a 3% de oxigênio.

Fonte: CONAMA 436/2011

Tabela 2 - Limites máximos de emissão para poluentes atmosféricos provenientes de processos de combustão a partir de gás natural

Potência térmica nominal (MW)	NOx (1)
MW < 10	NA (2)
10 ≤ MW ≤ 70	400
MW > 70	320

(1) os resultados devem ser expressos na unidade de concentração mg/Nm<sup>3</sup>, em base seca a 3% de oxigênio.

NA - Não aplicável.

Fonte: CONAMA 436/2011

Tabela 3 - Limites máximos de emissão para poluentes atmosféricos provenientes de processos de combustão a partir de cana de açúcar.

<b>Potência térmica nominal (MW)</b>	<b>MP (1)</b>	<b>NOx (1)</b>
<b>MW &lt; 50</b>	<b>520</b>	<b>NA</b>
<b>50 ≤ MW ≤ 100</b>	<b>450</b>	<b>350</b>
<b>MW &gt; 100</b>	<b>390</b>	<b>350</b>

(1) os resultados devem ser expressos na unidade de concentração mg/Nm<sup>3</sup>, em base seca a 8% de oxigênio.

NA - Não aplicável.

Fonte: CONAMA 436/2011

Tabela 4 - Limites máximos de emissão para poluentes atmosféricos provenientes de processos de combustão a partir de derivados de madeira.

<b>Potência térmica nominal (MW)</b>	<b>MP (1)</b>	<b>NOx (1)</b>
<b>MW &lt; 10</b>	<b>730</b>	<b>NA</b>
<b>10 ≤ MW ≤ 50</b>	<b>520</b>	<b>650</b>
<b>MW &gt; 50</b>	<b>300</b>	<b>650</b>

(1) os resultados devem ser expressos na unidade de concentração mg/Nm<sup>3</sup>, em base seca a 8% de oxigênio.

NA - Não aplicável.

Fonte: CONAMA 436/2011

## 11 ESTUDO DE CASO

Os resultados mostrados a seguir são de uma caldeira (fabricante Aalborg, Dinamarca) movida a gás natural e uma caldeira (fabricante Icavi) movida a cavaco de madeira, ambas instaladas em uma indústria de alimentos da região de Bauru, Estado de São Paulo .

O objetivo é mostrar o comparativo do custo da geração de vapor (R\$/ton. de vapor), utilizando uma caldeira movida a gás natural (CH<sub>4</sub>) em relação à outra movida à biomassa (cavaco de madeira).

A indústria onde se encontra instaladas as caldeiras, operava anteriormente somente com a caldeira movida a gás natural. Porém foi iniciado por seus engenheiros, um estudo para verificar a viabilidade de aquisição e instalação de uma caldeira movida de biomassa. A conclusão do estudo foi que realmente seria viável a instalação da caldeira de biomassa, visto que o retorno do investimento seria de apenas dois anos, sendo este prazo de acordo com os procedimentos internos da empresa em relação à investimentos para aquisição de equipamentos.

### 11.1 INFORMAÇÕES DE OPERAÇÃO DA CALDEIRA MOVIDA A GÁS NATURAL

O fornecimento do gás natural é realizado através de canalização (tubulação) subterrânea que vai até próximo à sala das caldeiras. Antes do gás ser injetado nos queimadores da caldeira (para realização da combustão), o mesmo passa por uma válvula de ajuste de pressão, para que esteja condições ideais de queima.

A operação da caldeira movida a gás natural é totalmente automática. Os controles de nível, pressão interna, vazão de vapor, partida e parada da caldeira, são todos realizados de forma automática, de maneira que o operador da caldeira não necessite realizar nenhum procedimento. Porém é necessário que o operador de caldeira esteja sempre na sala das caldeiras, pronto para realizar intervenções no equipamento, caso ocorra qualquer anormalidade. Contudo, basicamente as tarefas de rotina do operador é realizar análises da água da caldeira, para controle dos parâmetros de incrustação e corrosão. A operação da caldeira movida a gás natural é realizada de forma tranquila, sendo necessário somente um operador para

operação do equipamento. A combustão da caldeira movida a gás natural não gera resíduos, principalmente fuligem.

## 11.2 INFORMAÇÕES DE OPERAÇÃO DA CALDEIRA MOVIDA BIOMASSA

O fornecimento da biomassa é realizado por empresas que trabalham com a picagem de eucalipto, e fazem a entrega na empresa através de carretas carregadas com o material.

Para estocagem da biomassa é necessário a disposição de um barracão de estoque, onde o material fica armazenado para posteriormente ser utilizado na queima da caldeira. O recebimento é realizado pelo operador que trabalha no barracão de biomassa, que precisa analisar (antes do início do descarregamento) a porcentagem de umidade do cavaco (através de um aparelho medidor de umidade) que deve estar entre 30 a 40%. Essa faixa de umidade é recomendada pelo fabricante da caldeira, pois o equipamento foi projetado para operar com o combustível nessas condições de umidade. A umidade abaixo de 30% poderá gerar um superaquecimento no interior da caldeira, trazendo sérios problemas no equipamento como rompimento dos tubos, por exemplo. A umidade acima de 40% implicará em uma menor eficiência da caldeira, ou seja, será necessária uma maior quantidade de biomassa para produzir a quantidade de vapor desejado. O operador que trabalha no barracão de biomassa utiliza uma pá carregadeira, para realizar o amontoamento do material no interior do barracão. Também é responsável pela alimentação da moega. A moega é o local onde é colocada a biomassa para alimentação da caldeira. Da moega, a biomassa é levada por uma esteira transportadora até o silo de alimentação da caldeira. No silo de alimentação existe uma gaveta de acionamento, que vai alimentando a caldeira com o combustível, de acordo com sua necessidade.

A ilustração do transporte da biomassa até a caldeira pode ser verificada na Figura 18.

Figura 18 - Caldeira de biomassa / sistema de alimentação



Fonte: Alimentação..., ([c2012])

O controle de nível da caldeira de biomassa é realizado de forma automática, porém para realização dos controles de pressão interna e vazão de vapor da caldeira é necessário que o operador realize ajustes nas quantidades de alimentação de combustível. A caldeira de biomassa é um equipamento com vários acionamentos mecânicos, como pistões, esteiras, sensores de fim de curso. Estes equipamentos são mais passíveis para apresentar falhas ou defeitos, sendo necessário o operador estar atento ao funcionamento dos mesmos.

O processo de combustão da caldeira de biomassa gera resíduo de cinza. A cinza gerada na caldeira corresponde à aproximadamente duas caçambas de 5m<sup>3</sup> por dia. A retirada da cinza gerada é realizada através de um filtro por onde passa os gases combustão. O filtro retém o material particulado, e conectado no filtro existe um sistema chamado extração de cinza (basicamente uma rosca sem fim), que transporte a cinza até a caçamba.

Quando ocorre o enchimento total da caçamba, é solicitada a troca da mesma. Esta atividade é realizada por uma empresa que trabalha com aluguéis de

caçambas. Diariamente é necessária a realização da atividade de troca da caçamba. O motorista da empresa de aluguéis de caçamba retira a caçamba cheia e coloca uma caçamba vazia no lugar. A caçamba cheia é levada para ser descartada em um aterro sanitário.

Segue o resumo dos custos para operação da caldeira de biomassa:

- a) combustível;
- b) óleo diesel utilizado na pá carregadeira (utilizada no barracão de estoque de biomassa);
- c) aluguel das caçambas;
- d) taxa de descarte de cinza no aterro sanitário.

### 11.3 LEVANTAMENTO DO CUSTO PARA PRODUÇÃO DE VAPOR COM A CALDEIRA QUE OPERA COM GÁS NATURAL

Os dados da tabela 5 mostra uma média nos meses de Junho, Julho e Agosto/14, dos valores de produção de vapor, eficiência da caldeira, consumo de gás natural e preço do gás natural. Durante este período a caldeira de biomassa não havia ainda entrado em operação.

Tabela 5 - Custo produção de vapor/mês.

<b>Gás Natural</b>		
<b>Vapor (1)</b>	18.000,00	ton. /mês
<b>Eficiência (2)</b>	0,01	ton. Vap/Nm <sup>3</sup>
<b>Gás natural (3)</b>	1.295.700,25	Nm <sup>3</sup>
<b>Preço (4)</b>	R\$ 1,06	R\$/m <sup>3</sup>
<b>Total (5)</b>	1.371.838,13	R\$/mês

Fonte: Indústria alimentícia da região

- (1) – quantidade de toneladas de vapor gerado por mês com a caldeira movida à gás natural;
- (2) – eficiência da caldeira movida a gás natural (Toneladas de vapor / Normal m<sup>3</sup> de gás natural);
- (3) – Consumo de gás natural para produzir as 18.000 toneladas de vapor;

- (4) – Preço do Normal m<sup>3</sup> de gás natural.
- (5) – Total em R\$ da quantidade de gás natural utilizada para produzir as 18.000 Toneladas de vapor durante o mês.

**Conforme os dados da Tabela 5, o custo para produzir 18.000 toneladas de vapor utilizando como combustível o gás natural, foi de R\$ 1.371.838,13.**

#### 11.4 LEVANTAMENTO DO CUSTO PARA PRODUÇÃO DE VAPOR COM A CALDEIRA MOVIDA À BIOMASSA

Os dados da Tabela 6 são uma média de Janeiro à Setembro/15, dos valores de produção de vapor, eficiência da caldeira movida à biomassa consome de biomassa e preço da biomassa. Durante este período, a caldeira movida à biomassa passou a produzir a média de 18.000 toneladas de vapor por mês, que antes era produzida pela caldeira movida a gás natural.

Tabela 6 - Custo produção de vapor/mês (Biomassa).

<b>Biomassa</b>			
<b>Vapor (6)</b>		18.000,00	Ton. /mês
<b>Eficiência (7)</b>		3,01	Ton. vapor/Ton. Bio
<b>Biomassa (8)</b>		5.980,07	Ton. Cavaco
<b>Preço (9)</b>	R\$	110,52	R\$/Ton. Bio
<b>Total (10)</b>	R\$	660.924,50	R\$/mês

Fonte: Indústria alimentícia da região

- (6) – quantidade de toneladas de vapor gerado por mês com a caldeira movida à biomassa;
- (7) – eficiência da caldeira movida à biomassa (Toneladas de vapor / Toneladas de biomassa);
- (8) – consumo de biomassa para produzir as 18.000 toneladas de vapor;
- (9) – preço da tonelada de biomassa;
- (10)– Total em R\$ da quantidade de biomassa utilizada para produzir as 18.000 Toneladas de vapor durante cada mês.

A Tabela 7 mostra os gastos adicionais com aluguel de caçamba, taxa de aterro e óleo diesel utilizado na pá carregadeira. Estes gastos são necessários para manter a caldeira de biomassa em operação.

Tabela 7 - Gastos adicionais para operação da caldeira biomassa.

<b>Gastos adicionais</b>			
<b>Cinzas (R\$) (11)</b>	R\$	21.230,93	Litros
<b>Diesel (R\$) (12)</b>	R\$	1.593,30	678
<b>Total (13)</b>	R\$	22.824,23	R\$ 2,35/litro

Fonte: Indústria alimentícia da região

(11)– gasto por mês com aluguel de caçamba e taxa de aterro;

(12)– óleo diesel utilizado por mês pela pá carregadeira para operação no barracão de biomassa;

(13)– Total por mês dos gastos adicionais.

## 11.5 COMPARATIVO ECONÔMICO ENTRE A PRODUÇÃO DE VAPOR COM A CALDEIRA MOVIDA A GÁS NATURAL EM RELAÇÃO À CALDEIRA DE BIOMASSA

Conforme mostrado no item 11.3, o valor para produzir 18.000 toneladas de vapor com a caldeira movida com uso de gás natural foi de **R\$ 1.371.838,13**.

Já os custos para produzir 18.000 toneladas de vapor com a caldeira de biomassa. O custo com combustível (R\$ 660.924,50) + os gastos adicionais (R\$ 22.824,23) resultam em um total de **R\$ 683.748,73**.

**Assim, podemos verificar que o mérito pela utilização da caldeira de biomassa, em substituição da caldeira à gás natural resulta numa redução de custo mensal de R\$ 688.089,39.**

Essa redução de custo foi muito importante para o fortalecimento da empresa, que tem buscado várias alternativas para conseguir reduzir os custos de produção, visando oferecer seu produto num preço mais competitivo, tendo em vista a acirrada concorrência em seu ramo de atividade.

## 11.6 IMPACTOS SOCIAIS E AMBIENTAIS

Para a caldeira movida a gás natural era necessário somente um operador para operação do equipamento. Para o transporte do combustível não há necessidade de mão de obra, visto que o gás é fornecido através de tubulações subterrâneas pressurizadas. Também a queima do gás natural não gera nenhum tipo de resíduo sólido.

A instalação da caldeira de biomassa foi positiva em relação à criação de empregos. Para a operação da caldeira é necessário dois operadores, um para controle direto da caldeira, e outro para operação da pá carregadeira no barracão de estoque de biomassa.

O fornecimento de biomassa é realizado por empresas da região. Três empresas realizam o fornecimento de biomassa. Isso gera emprego para os motoristas, que realizam o transporte/entrega da biomassa diariamente. Fora os motoristas que realizam o transporte da biomassa, também há o aumento de trabalho nos picadores das empresas fornecedoras de biomassa. Os picadores são os equipamentos que realizam a picagem da madeira, que posteriormente será entregue nas empresas consumidoras de biomassa.

Também na queima/combustão da biomassa ocorre a geração de cinza, aproximadamente duas caçambas de 5 m<sup>3</sup> por dia de geração de cinza. Essa cinza é descartada em um aterro sanitário. O transporte da cinza até o aterro é realizado por uma empresa terceira. Isso gera o emprego de um motorista nesta empresa (terceira), que faz o transporte diário da cinza até o aterro sanitário.

A utilização da caldeira biomassa apresenta também algumas vantagens relacionadas ao meio ambiente. Os biocombustíveis são menos nocivos à saúde em comparados aos combustíveis derivados de petróleo, as cinzas são menos prejudiciais ao meio ambiente em relação as provenientes dos combustíveis fósseis. Além disso, a biomassa é um recurso renovável e sua utilização é de menor risco ambiental. As emissões atmosféricas provenientes da combustão da caldeira de biomassa não possuem dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) em sua composição.

## **12 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

As caldeiras são equipamentos que envolvem muitos cuidados em relação à sua operação. A escolha da caldeira ideal para cada finalidade deve ser verificada detalhadamente, analisando pontos importantes como tipo de caldeira, inspeção e manutenção, procedimentos de segurança, tratamento de água e tipo de combustível.

No Estudo de Caso, podemos verificar que o uso da biomassa é de sobremaneira mais vantajoso, pois além de usar um recurso renovável permite uma economia real para a produção de vapor para as mais diversas finalidades dentro da indústria. A redução de custo com a implantação da caldeira de biomassa foi muito importante economicamente para a empresa (em que foi realizado o Estudo de Caso), que tem buscado várias alternativas para conseguir reduzir os custos de produção, visando oferecer seu produto em um preço mais competitivo, tendo em vista a acirrada concorrência em seu ramo de atividade.

## REFERÊNCIAS

ALTAFINI, C. Apostila sobre Caldeiras. RS, Universidade de Caxias do Sul, 2002. 36p. Apostila.

AMARAL, L. Apostila de Vapor. **Ebah**, [c2006-2013]. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABhtQAL/5152-apostila-vapor-cefetes?part=6>>. Acesso: 6 set. 2015.

ALIMENTAÇÃO de caldeiras. **Lippel**, [c2012]. Disponível em: Disponível em:<<http://www.lippel.com.br/br/idades-de-producao/alimentacao-de-usinas-termoeletricas/alimentacao-de-termoeletricas>> Acesso: 31 out.2015

BRASIL (País). Portaria MTE n.º 594, de 28 de abril de 2014. Norma Regulamentadora NR-13 CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO E TUBULAÇÕES. Brasil, 22 pag. Abril 2014.

BRASIL. Resolução n.º 436, de 22 de dezembro de 2011. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA), Limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. Brasil, 42 pag. Dezembro 2011.

BRAIN, M. Caldeiras. **ciencia.hsw.uol**, [c1998-2014]. Disponível em: <<http://ciencia.hsw.uol.com.br/motor-a-vapor2.htm>>. Acesso em: 5 set. 2015.

CARVALHO, N. Caldeiras Aquatubulares. **Ebah**, [c2006-2013]. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAALegAE/caldeiras-aquatubulares>>. Acesso: 5 set. 2015.

INJETORES para alimentação de caldeiras. **Niagara**, [c2001-2006]. Disponível em: < <http://www.niagara.com.br/v2/si23.htm>>. Acesso em: Acesso: 6 set. 2015.

MACINTYRE, A.J. Equipamentos Industriais e de Processo. 1º edição. Rio de Janeiro. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 1997. 277p.

MANÔMETRO industrial. **Soluções industriais**, 2015? Disponível em : < [http://www.solucoesindustriais.com.br/empresa/automatizacao-e-robotica/asta-industria-e-comercio-de-instrumentacao-e-controle-ltda-/produtos/automacao\\_industrial/manometro-industrial](http://www.solucoesindustriais.com.br/empresa/automatizacao-e-robotica/asta-industria-e-comercio-de-instrumentacao-e-controle-ltda-/produtos/automacao_industrial/manometro-industrial)>. Acesso: 6 set. 2015.

PESCINELLI, E. Segurança na Operação de Caldeiras. SP, Centro de Capacitação Industrial Agudos, 2010. 223p. Apostila.

PRESSOSTATOS. **Total automação**, 2015?. Disponível em: <http://www.totalautomacao.com.br/c/honeywell-caldeiras-e-fornos/pressostatatos--2>. Acesso: 06 set. 2015.

ROLLIEN, T. M. et al. Caldeiras. **Ebah**, [c2006-2013]. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAfSBMAF/caldeiras>>. Acesso em: 5 set. 2015.

ROSA, F.A. Equipamentos para Geração de Vapor. 2005. 131 pag. Trabalho de Conclusão de Curso (Química) – Universidade do Sagrado Coração, Bauru SP, 2005.

ROCCO, C.D. Um modelo de otimização para as operações de produção de vapor em caldeiras industriais. 2012. p. 273-286. São Carlos. v. 19. 2011.

SOPRADOR de fuligem. **Biocal**, [c2014]. Disponível: <http://www.biocal.ind.br/br/componentes/soprador-de-fuligem>. Acesso: 05 set.2015.

THAMIL. Caldeiras Aquotubulares, 2015. Fabricante de caldeiras. Disponível em: <<http://www.thamil.com.br/caldeiras-aquotubulares.html>>. Acesso em: 29 ago. 2015. 2015?

THAMIL. Caldeiras Flamotubulares, 2015. Fabricante de caldeiras. Disponível em <<http://www.thamil.com.br/caldeiras-flamotubulares.html>>. Acesso em: 29 ago. 2015. 2015?

THAMIL. Caldeiras Aquotubulares, 2015. Fabricante de caldeiras. Disponível em: <<http://www.thamil.com.br/caldeiras-aquotubulares.html>>. Acesso em: 29 ago. 2015. 2015?

TRATAMENTO de água de caldeira. **Ebah**, [c2006-2013]. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAf0kUAC/caldeira-recipiente-metalico-cuja-funcao>>. Acesso em: 5 set. 2015.

VISORES de nível do tipo vidro. **Wika**, 2015?. Disponível em: <[http://www.wika.com.br/lgg\\_pt\\_br.WIKA](http://www.wika.com.br/lgg_pt_br.WIKA)>. Acesso: 6 set. 2015.

VÁLVULAS de Segurança LESER. **Kcal**, 2015?. Disponível em: <<http://www.kcal.com.br/produtos.php?i=75>>. Acesso: 05 set. 2015