

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS
ENGENHARIA MECÂNICA
FRANCIS DE LIMA LOURENÇO

ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE SEGURANÇA EM OPERAÇÕES COM
CALDEIRAS À VAPOR

Varginha
2019

FRANCIS DE LIMA LOURENÇO

**ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE SEGURANÇA EM OPERAÇÕES COM
CALDEIRAS À VAPOR**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas - UNIS como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel sob orientação do Professor Sidnei Pereira.

**Varginha
2019**

FRANCIS DE LIMA LOURENÇO

**ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE SEGURANÇA EM OPERAÇÕES COM
CALDEIRAS À VAPOR**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas- UNIS, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em / /

Profº

Profº

Profº

OBS.:

Dedico este trabalho a todos aqueles que
contribuíram para sua realização.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus colegas, professores e a minha família por terem ajudado na construção deste trabalho.

“Não aceitar nada como verdadeiro sem saber evidentemente que o é.”

Descartes

RESUMO

A caldeira é um equipamento altamente resistente que possui como princípio básico o aquecimento da água líquida que se transforma em gasosa por meio da troca térmica entre um combustível e a água. As indústrias que possuem caldeiras devem possuir documentações específicas para estarem em conformidade durante uma fiscalização do ministério do trabalho, dentre estas documentações estão prontuário de fabricação, livro de registro de segurança, projeto de instalação, projetos de alteração ou reparos e relatórios de inspeção. As empresas que não atenderem aos requisitos estão passivas de multa. Salienta-se também, a importância da prevenção de acidentes com os operadores pois não são poucas as vezes que temos informações de acidentes com estes equipamentos onde colaboradores foram mortos ou gravemente feridos através de explosões. Além dos acidentes, que muitas das vezes são fatais, seguir as regras e normas existentes estabelecidas também evitará que a empresa arque com multas onerosas ou até mesmo o embargo do equipamento. O objetivo deste estudo é realizar uma análise, embasada na NR 13, onde se refere às condições de instalação e procedimentos operacionais, no intuito de se obter informações precisas sobre a situação atual da segurança na operação de caldeiras. Foi verificada a importância dos operadores das caldeiras conhecerem as normas de segurança e aplica-las na rotina da empresa. A metodologia utilizada foi a bibliográfica, através da pesquisa em livros, normas e artigos científicos.

Palavras-chave: Caldeiras à vapor. Norma Regulamentadora n. 13. Segurança do Trabalho.

ABSTRACT

The boiler is a highly resistant equipment that has as its basic principle the heating of liquid water that becomes gaseous through the thermal exchange between a fuel and water. Industries that have boilers must have specific documentation to be compliant during a ministry of labor inspection, such as manufacturing records, safety log book, installation design, alteration or repair projects, and inspection reports. Companies that do not meet the requirements are fined. It is also stressed the importance of preventing accidents with operators as we often have information about accidents with these equipment where employees were killed or seriously injured by explosions. In addition to accidents, which are often fatal, following established rules and regulations will also prevent the company from incurring costly fines or even embargoing equipment. The objective of this study is to perform an analysis, based on NR 13, which refers to the installation conditions and operating procedures, in order to obtain accurate information about the current safety situation in boiler operation. It was verified the importance of boiler operators to know the safety standards and apply them in the routine of the company. The methodology used was bibliographic, through research in books, norms and scientific articles.

Keywords: *Steam boilers. Regulatory Standard no. 13. Occupational Safety.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Ilustração simplificada de uma caldeira de vapor	16
Figura 02 – Ilustração do princípio de caldeiras flamotubulares	17
Figura 03 – Ilustração do princípio de uma caldeira aquatubular	19
Figura 04 – Representação esquemática de um desacelerador	26
Figura 05 – Desmineralizador de troca iônica	27
Figura 06 – Vista da frente da Caldeira	37
Figura 07 – Dispositivo de Segurança - Garrafa de Nível da Água	38
Figura 08 – Pressostato	38
Figura 09 – Dispositivo de Segurança – Manômetro	39
Figura 10 – Placa de identificação da caldeira	40
Figura 11 – Primeira - Válvula de Segurança 6Kgf/cm ² /Comodoro VS-100, diâmetro de 1 ½”	40
Figura 12 – Segunda - Válvula de Segurança 6,5Kgf/cm ² /Comodoro VS-100, diâmetro de 1 ½”	41
Figura 13 – Sistema manual para acionamento da válvula de segurança	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASME – American Society of Mechanical Engineers

Ca – Cálcio

C.A. – Certificado de Aprovação

CLT – Consolidação das Leis do Trabalho

EPCs – Equipamentos de Proteção Coletiva

EPIs – Equipamentos de Proteção Individual

NR – Norma Regulamentadora

Mg – Magnésio

MT – Ministério do Trabalho

MTE – Ministério do Trabalho e do Emprego

Na – Sódio

pH – Potencial Hidrogeniônico.

PH – Profissional Habilitado

SGC – Sistema de Gerenciamento

SPIE – Serviço Próprio de Inspeção de Equipamentos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 CALDEIRAS	14
2.1 Histórico	14
2.2 Definição de caldeira a vapor	15
2.3 Vida útil (otimização) e falhas no processo operacional	19
2.4 Dispositivos de segurança	20
2.5 Riscos de explosões	21
3 ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO DE CALDEIRAS	23
3.1 Tratamentos primários da água	23
3.2 Objetivos de tratamento de água das caldeiras	23
3.3 Qualidade da água de abastecimento das caldeiras	24
3.4 Principais grandezas de qualidade da água	24
3.4.1 Dureza total	24
3.4.2 pH (potencial hidrogeniônico)	24
3.5 Problemas relacionados com a qualidade da água	25
3.5.1 Incrustação	25
3.5.2 Corrosão	25
3.5.3 Formação de espumas (espumação) e arraste	25
3.5.4 Tratamento da água	26
4 NORMAS REGULAMENTADORAS PARA SEGURANÇA E SAÚDE DO TRABALHO	29
4.1 A NR 13 e os acidentes com caldeiras	31
5 METODOLOGIA	33
6 ESTUDO DE CASO	35
6.1 Avaliação - <i>Check-list</i>	35
6.2 Resultados	37
7 CONCLUSÃO	42
REFERÊNCIAS	43

1 INTRODUÇÃO

A caldeira de vapor é um equipamento fundamental nos processos de produção das indústrias, as quais a utilizam para diferentes funções como para limpeza (esterilização), aquecimento e participação direta no processo produtivo, utilizados por exemplo, em diversas indústrias, restaurantes, hotéis, hospitais e frigoríficos.

A falta de manutenção ou falta de preparo do funcionário, para o uso desse equipamento, pode gerar falhas mecânicas ou humanas que, conseqüentemente, podem acarretar em acidentes de trabalho irreparáveis ao responsável direto e/ou demais funcionários da empresa, bem como consideráveis prejuízos financeiros ao estabelecimento.

A caldeira é um equipamento altamente resistente, possui como princípio básico o aquecimento da água líquida que se transforma em gasosa por meio da troca térmica entre um combustível e a água.

O vapor é a água em estado gasoso, usado desde os primórdios do desenvolvimento industrial, pelo alto conteúdo energético que possui. A caldeira e os vasos, por atuarem com pressões acima da pressão atmosférica, constituem um risco iminente na sua operação, vários são os aspectos relacionados ao perfeito funcionamento das caldeiras, pois qualquer falha pode ser catastrófica.

Nesse sentido, empresas e indústrias que possuem tais equipamentos e atividades em seu escopo devem adotar os procedimentos obrigatórios da Norma Regulamentadora n.º 13, alterada pela Portaria MTb n.º 1.082, de 18 de dezembro de 2018, a qual fornece orientações fundamentais e específicas para a segurança do processo.

Segundo a NR-13, indústrias que possuem caldeiras devem possuir documentações específicas para estarem em conformidade durante uma fiscalização do Ministério do Trabalho, dentre as documentações estão prontuário de fabricação, livro de registro de segurança, projeto de instalação, projetos de alteração ou reparos e relatórios de inspeção.

Salienta-se também, a importância da prevenção de acidentes com os operadores de tais equipamentos, pois não são poucas as vezes que se tem registro de acidentes com estes equipamentos onde colaboradores foram mortos ou gravemente feridos através de explosões. Além dos acidentes, que muitas das vezes são fatais, seguir as regras e normas existentes também evitará que a empresa arque com multas onerosas ou até mesmo o embargo do equipamento.

O objetivo desse estudo é realizar uma análise, embasada na NR-13, onde se refere às condições de instalação e procedimentos operacionais, no intuito de se obter informações precisas sobre a situação atual da segurança na operação de caldeiras.

Para alcançar tais objetivos, o estudo foi dividido em quatro capítulos.

O primeiro capítulo estudou a origem histórica das caldeiras. Em seguida, a definição de caldeira à vapor, sua vida útil e as falhas no processo operacional, bem como, seus dispositivos de segurança e riscos de explosões.

O segundo capítulo abordou os aspectos relevantes da água utilizada na alimentação de caldeiras. Estudou o tratamento primário da água e seus objetivos. Em seguida, falou da importância da qualidade da água de abastecimento das caldeiras; das principais grandezas de qualidade da água, dureza total e pH (potencial hidrogeniônico). Em seguida, abordou os problemas relacionados com a qualidade da água, como, incrustação, corrosão e formação de espumas e arraste.

O terceiro capítulo estudou as normas regulamentadoras para segurança e saúde no trabalho, especificamente a Norma Regulamentadora n. 13.

O quarto capítulo apresentou um estudo de caso, realizado na Fazenda Nossa Senhora Aparecida de propriedade do Sr. Amarildo dos Santos Borba, localizada no bairro Cedro, Zona Rural, Km 08, do município de Conceição da Aparecida MG.

A metodologia utilizada foi a bibliográfica, através da pesquisa em livros, artigos científicos e principalmente a NR-13. Foi utilizada também uma pesquisa de campo, afim de verificar as condições de segurança em operações com caldeiras à vapor.

2 CALDEIRAS

2.1 Histórico

O vapor de água acompanha o homem desde o início da civilização. Era especialmente utilizado para o cozimento de alimentos. Na antiga Grécia havia descrição de uma turbina a vapor, conhecida como turbina de Hero. No final do século XVII, pouco antes da Revolução Industrial, já existiam sistemas de bombeamento de água que utilizavam o vapor como força motriz (FILLIPO FILHO, 2014).

De acordo com Filipo Filho:

O vapor foi a base que sustentou a Revolução Industrial. Na década de 1770, James Watt desenvolveu o motor a vapor a partir de melhorias em sistemas motrizes que já existiam há quase cem anos. Ele facilitou o fornecimento de força motriz para os diversos processos industriais, permitindo que a indústria se expandisse em um ritmo tão acelerado que mudou de forma radical o estilo de vida da humanidade. Já no início do século XIX, o vapor permitiu a motorização de navios e o surgimento das ferrovias com locomotivas a vapor. (FILLIPO FILHO, 2014, p. 81-82)

O motor a vapor revolucionou a indústria e os sistemas de transportes. Hoje em dia, o motor a vapor não é mais utilizado. Em seu lugar são empregados os motores de combustão interna. Atualmente, a obtenção de trabalho mecânico a partir do vapor é feita com o uso de turbinas. Uma das principais aplicações das turbinas a vapor é o acionamento de geradores elétricos em centrais termo-elétricas. Outras aplicações podem ser encontradas no acionamento de grandes bombas, ventiladores e compressores. (FILLIPO FILHO, 2014).

A maior utilização do vapor envolve o aquecimento, especialmente em processos industriais. Enquanto o uso do vapor para aquecimento é de interesse geral, sua aplicação em turbinas é de interesse muito restrito e especializado (FILLIPO FILHO, 2014, p. 82).

Atualmente, o vapor de água é usado em grande escala e com inúmeras aplicações, sendo indispensável em muitos processos industriais. Sua preferência é justificada por possuir alto poder calorífico e pela ampla disponibilidade da água no meio industrial. Os geradores de vapor atuais, popularmente denominados caldeiras, são definidos também como trocadores de calor (BEUX, 2014).

De acordo com Beux:

As caldeiras são capazes de operar, em grande parte das aplicações industriais, com pressões vinte vezes maiores que a atmosférica, podendo constituir, durante sua operação, um risco grave e iminente para a integridade física dos trabalhadores.

Atualmente, graças a todos os aperfeiçoamentos e à intensificação da produção industrial, a caldeira ocupa um lugar importante, pois gera o vapor indispensável a muitas atividades, não só para movimentar máquinas, mas também para limpeza (esterilização), aquecimento e participação direta no processo produtivo como matéria-prima. (BEUX, 2014, p. 15)

Além da indústria, outras empresas utilizam cada vez mais o vapor gerado pelas caldeiras, como por exemplo: restaurantes, hotéis, hospitais, frigoríficos entre outros (BEUX, 2014, p. 15).

2.2 Definição de caldeira a vapor

A caldeira é um trocador de calor que, trabalhando com pressão superior à pressão atmosférica, produz vapor a partir da energia térmica fornecida por uma fonte qualquer. É constituída por diversos equipamentos integrados, para permitir a obtenção do maior rendimento térmico possível e maior segurança (BEUX, 2014, p. 13). Segundo a NR 13, “Caldeiras a vapor são equipamentos destinados a produzir e acumular vapor sob pressão superior à atmosférica, utilizando qualquer fonte de energia, projetados conforme códigos pertinentes, excetuando-se refervedores e similares” (BRASIL, 2018).

Uma caldeira deve receber alimentação contínua de água. Essa água deve ser aquecida por ação do calor resultante de um processo de combustão e se vaporizar. O vapor produzido é continuamente distribuído para os processos industriais (FILLIPO FILHO, 2014).

A Figura 01 ilustra essa situação:

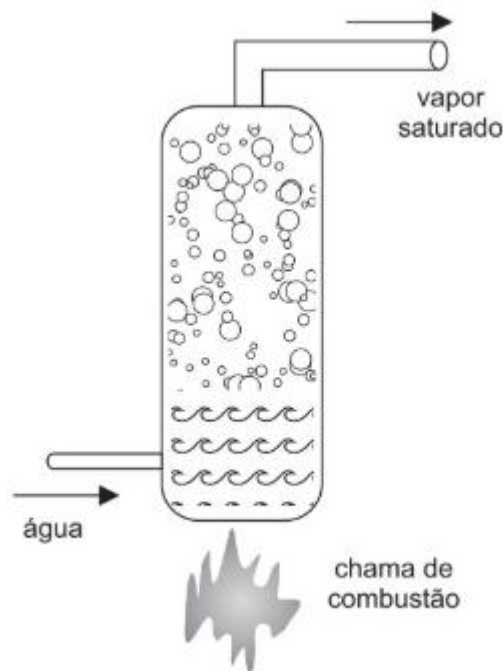


Figura 01: Ilustração simplificada de uma caldeira de vapor.
Fonte: Fillipo Filho, 2014.

Uma bomba faz a alimentação da água da caldeira na pressão desejada. A vaporização ocorre em um vaso de pressão, uma espécie de tanque (caldeiras flamotubulares), ou em tubos (caldeiras aquatubulares). O vapor produzido é do tipo saturado, uma vez que se tem uma mistura de água e vapor (FILLIPO FILHO, 2014, p. 83).

As caldeiras podem ser classificadas de acordo com as classes de pressão, grau de automação, tipo de energia empregada, e tipo de troca térmica.

De acordo com a NR 13, pelas classes de pressão, as caldeiras foram classificadas em:

- Categoria A: pressão de operação é igual ou superior a 1.960 kPa (19,98 kgf/cm²), com volume superior a 100 L (cem litros);
- Categoria B: pressão de operação seja superior a 60 kPa (0,61 kgf/cm²) e inferior a 1 960 kPa (19,98 kgf/cm²), volume interno superior a 100 L (cem litros) e o produto entre a pressão de operação em kPa e o volume interno em m³ seja superior a 6 (seis). (BRASIL, 2018)

Conforme o grau de automação, as caldeiras podem se classificar em: manuais, semiautomáticas e automáticas (BRASIL, 2018).

Com relação ao tipo de energia empregada (combustíveis), podem ser: caldeiras a combustível sólido, líquido, gasoso, caldeiras elétricas, e de recuperação (BRASIL, 2018).

Observa-se que a NR 13 classifica as caldeiras de vapor conforme a sua capacidade de operação através da pressão utilizada. A escolha da caldeira é definida pela empresa ou indústria, conforme a sua utilização, dentro de suas funções estabelecidas.

As caldeiras são classificadas em caldeiras flamotubulares e aquotubulares.

De acordo com Silva et.al. (2015), as caldeiras flamotubulares ou flamotubulares foram os primeiros tipos de caldeiras construídas, e são caracterizadas pela circulação interna dos gases, ou seja, existem tubos que conduzem os gases provenientes da combustão por todo o interior da caldeira.

Nas caldeiras do tipo flamotubulares, os gases de combustão escoam no interior de tubos em direção à chaminé. A água envolve esses tubos e se vaporiza à medida que recebe calor. A fornalha também pode ser envolvida total ou parcialmente pela água. (FILLIPO FILHO, 2014, p. 83)

Esse tipo de caldeira pode ser montado na vertical ou na horizontal, conforme ilustra a Figura 02.

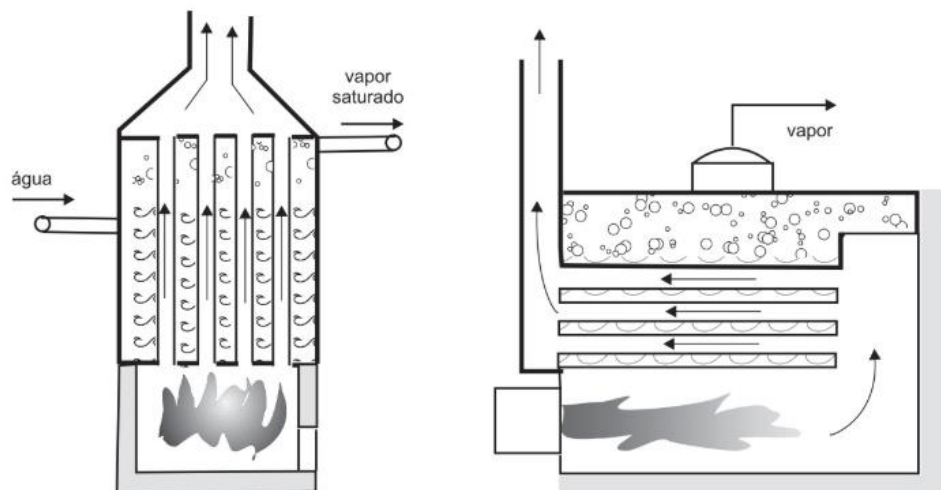


Figura 02: Ilustração do princípio de caldeiras flamotubulares.
Fonte: Fillipo Filho, 2014.

Em geral essas caldeiras são empregadas para pressões de até 20 bar e produção máxima de 40 t/h de vapor saturado úmido, ou seja, com título entre 85% e 95% (FILLIPO FILHO, 2014, p. 83).

As partes principais das caldeiras flamotubulares são: corpo, espelhos, feixe tubular ou tubos de fogo, e caixa de fumaça. Segundo Beux:

O corpo da caldeira, também chamado de casco ou carcaça, é construído a partir de chapas de aço carbono calandradas e soldadas; seu diâmetro e comprimento estão relacionados à capacidade de produção de vapor; as pressões de trabalho são limitadas pelo diâmetro do corpo dessas caldeiras; os espelhos são chapas planas cortadas em forma circular soldadas nas duas extremidades do corpo da caldeira, neles estão fixos os tubos, formando o feixe responsável pela absorção do calor contido nos gases de exaustão e transferido à água. (BEUX, 2014, p. 15)

Nas caldeiras aquotubulares, o volume da água é distribuído pelo interior de tubos que estão submetidos exteriormente aos gases provenientes da combustão. As caldeiras aquotubulares são amplamente utilizadas por possuírem vasos pressurizados internamente e de menores dimensões relativas, o que viabiliza técnica e economicamente o emprego chapas de maiores espessuras, e conseqüentemente a operação com pressões mais elevadas e maior produção de vapor (SILVA et.al., 2015).

Segundo Fillipo Filho:

Nesse caso a vaporização da água ocorre no interior de tubos que recebem o calor resultante da combustão. Nesse tipo de caldeira é possível produzir vapor em pressões mais elevadas, uma vez que é mais fácil construir tubos que resistam a altas pressões do que tanques, como no caso das caldeiras flamotubulares. Uma caldeira aquotubulares basicamente é constituída por um tubulão na parte superior e outro na parte inferior. (FILLIPO FILHO, 2014, p. 83)

Segundo o autor, feixes de tubos interligam esses tubulões. Por ação natural, a água desce para o tubulão inferior e sobe deste para o tubulão superior. Nesses tubos ascendentes ocorre a vaporização. Esses tubos são posicionados nas paredes da fornalha e no circuito dos gases quentes resultantes da combustão. No tubulão superior existe uma mistura d'água e vapor. A água de alimentação da caldeira é fornecida no tubulão superior, de onde também é extraído o vapor saturado produzido (FILLIPO FILHO, 2014).

A Figura 03 ilustra essa situação.

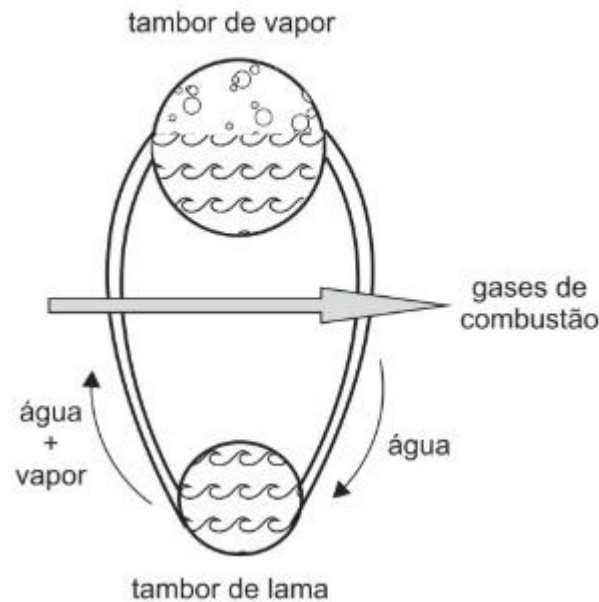


Figura 03: Ilustração do princípio de uma caldeira aquatubular.
Fonte: Fillipo Filho, 2014.

No tubulão inferior acumulam-se todos os tipos de impurezas eventualmente arrastadas pela água. Essa sujeira acumulada deve ser drenada periodicamente. Esse tubulão inferior também é denominado tubulão de lama (FILLIPO FILHO, 2014).

2.3 Vida útil (otimização) e falhas no processo operacional

A vida útil de um gerador é a quantidade de horas de fogo que pode suportar em condições normais de funcionamento, isto é, vaporizando à pressão máxima de trabalho admissível para a qual foi o projetado (BEUX, 2014, p. 16).

Segundo Beux:

A vida útil de uma caldeira depende fundamentalmente do método de trabalho que tenha sido realizado, do sistema de vaporização (regime constante ou variável), da qualidade da água de alimentação, frequência das limpezas externas e internas etc., motivo pelo qual não é possível determinar sem cometer erros consideráveis em relação ao tempo médio de vida para cada caldeira. (BEUX, 2014, p. 17)

Beux (2014) cita Pipesystem (2004), as falhas que podem ocorrer em um gerador de vapor estão ligadas a:

- a) Falhas por superaquecimento; podem ocorrer de duas maneiras: superaquecimento por longo período e superaquecimento por curto período.
- b) Fadiga térmica; esse tipo de corrosão é resultante de esforços de tração cíclicos, que são acelerados quando operados em um ambiente corrosivo.
- c) Ocultamento (hide-out); falta de concentrações de sais minerais solúveis na água da caldeira, tais como fosfato, sulfato, cloreto e hidróxido de sódio. Acontece em zonas de elevada taxa de transferência de calor. As consequências são a falta de refrigeração das paredes dos tubos onde ele se estabelece. (PIPESYSTEM¹, 2004 apud BEUX, 2014, p. 17)

As falhas e, na maioria dos casos, os acidentes ocasionados no funcionamento de uma caldeira dependem muito da qualificação e responsabilidade do operador.

2.4 Dispositivos de Segurança

De acordo com a Norma Regulamentadora n.13, os dispositivos de segurança das caldeiras têm por finalidade proteger os operadores e demais trabalhadores, bem como os equipamentos, de possíveis falhas em seu funcionamento. Os principais dispositivos de segurança são:

- Válvula de segurança com pressão de abertura ajustada em valor igual ou inferior à Pressão Máxima de Trabalho Admissível.
- Manômetro: instrumento que indica a pressão do vapor acumulado.
- Injetor ou outro meio de alimentação de água, independentemente do sistema principal, em caldeiras a combustível sólido.
- Sistema de indicação para controle do nível de água ou outro sistema que evite o superaquecimento por alimentação deficiente. (BRASIL, 2018)

As unidades geradoras de vapor necessitam de equipamentos para controle e operação, tais como:

- Sistema de controle de água de alimentação: regulam o abastecimento de água ao tubulão de evaporação para manter o nível entre limites desejáveis. Esses limites devem ser observados no indicador de nível. O sistema automático de controle da água mais usado é o regulador de nível de eletrodos, esse regulador age diretamente na bomba de alimentação da caldeira.

- Indicador de nível: mostra o nível de água dentro do tubulão de evaporação, é constituído por um vidro tubular.

¹ PIPESYSTEM. Sistemas de Vapor. Rio de Janeiro, 2004.

- Válvulas de segurança: são necessárias para prevenir eventual ascensão na pressão normal de trabalho da caldeira. Toda caldeira deve possuir pelo menos uma válvula de segurança, o ideal e o recomendado são duas. Elas devem ser capazes de descarregar todo vapor gerado sem causar aumento de pressão superior a 10% da pressão do projeto.

- Sopradores de fuligem: são muito usados nas caldeiras aquotubulares, servem para remover a fuligem ou depósitos de cinzas das superfícies de aquecimento, e funcionam em geral com vapor seco; essa remoção do material particulado, da superfície de aquecimento, pode contribuir no rendimento da caldeira.

- Injetores: são dispositivos empregados como alimentadores de caldeiras para situações de falta de energia elétrica.

- Pressostatos: mantêm a pressão dentro de uma faixa admissível de operação. • Manômetros: ligados diretamente ao espaço ocupado pelo vapor.

- Outros acessórios: sensores de chama, as quais atuam no queimador; válvula de purga, instalada no ponto mais baixo da caldeira; e válvulas de bloqueio, instaladas em toda saída de calor das caldeiras.

2.5 Riscos de Explosões

De acordo com Altafini (2002), o emprego de caldeiras implica na presença de riscos diversos como explosões, incêndios, choques elétricos, intoxicações, quedas, ferimentos diversos. Os riscos com explosões são, entretanto, os mais importantes pelas seguintes razões:

Por se encontrar presentes durante todo o tempo de funcionamento, sendo imprescindível seu controle de forma contínua, sem interrupções;
Em razão da violência com que acontecem, na maioria das vezes com consequências catastróficas em virtude da grande quantidade de energia liberada instantaneamente;
Por envolver os operadores e demais pessoas que trabalham no local;
Por sua prevenção dever ser considerada em todas as fases, desde o projeto, fabricação, operação, manutenção, inspeção etc. (ALTAFINI, 2002, p. 36)

Segundo o autor, os riscos de explosão das caldeiras podem ser originados na combinação de 3 (três) fatores:

Diminuição da resistência, que pode ser decorrente do superaquecimento ou da modificação da estrutura do material que compõe a caldeira;
Diminuição de espessura das paredes, que pode ser originada da corrosão ou da erosão agressiva, devido à altas temperaturas; e
Aumento de pressão decorrente de falhas diversas, que podem ser operacionais ou não, e que podem ocorrer devido a falhas em manômetros. (ALTAFINI, 2002, p. 36)

O Superaquecimento como causa de explosões acontece quando o aço, com que é construída a caldeira, é submetido, em alguma parte, a temperaturas maiores do que aquelas admissíveis, ocorrendo então a redução da resistência do aço e aumentando o risco de explosão (BEUX, 2014).

Segundo Altafani (2002), as principais causas do superaquecimento podem ocorrer devido a diferentes fatores, listados a seguir:

- Seleção inadequada do aço no projeto da caldeira;
- Uso de aços com defeitos;
- Prolongamentos excessivos dos tubos;
- Queimadores mal posicionados;
- Incrustações;
- Operação em marcha forçada;
- Falta de água nas regiões de transmissão de calor, o contato da água com o aço é fundamental para mantê-lo refrigerado;
- Má circulação da água;
- Falha operacional;
- Riscos de obstruções ou acúmulo de lama na coluna de nível, geralmente quando a limpeza ou a manutenção preventiva ou o tratamento da água são realizados de forma ineficiente. (ALTAFINI, 2002, p. 36)

Esses problemas geralmente estão ligados à negligência dos operadores e dos procedimentos de manutenção.

3 ÁGUA PARA A ALIMENTAÇÃO DE CALDEIRAS

Diversos mananciais, como: águas superficiais de rios, lagos e represas, águas de poços artesianos, águas da rede pública etc., podem ser utilizados como fonte de captação para a alimentação de sistemas geradores de vapor (BEUX, 2014).

Porém, para que uma caldeira tenha um bom funcionamento e longo tempo de vida, é necessário que se dê uma especial atenção à água de alimentação. Um tipo de água que apresenta boa qualidade para uso doméstico ou para alguns processos industriais pode não apresentar boas características para uso em caldeiras a vapor. Nenhuma água é totalmente pura, pois todas podem apresentar uma certa quantidade de impurezas granulares ou moleculares. A quantidade de materiais dissolvidos depende do lugar de captação da água e a da geologia local (BEUX, 2014).

3.1 Tratamentos primários da água

O tratamento preliminar atua sobre as impurezas mais grosseiras, tais como turbidez, sólidos em suspensão e material orgânico (BEUX, 2014).

A água que entra na caldeira sem receber tratamento adequado causará incrustação, corrosão nos tubos, sedimentação e formação de espumas que serão arrastadas para as linhas de vapor, prejudicando a qualidade do mesmo, diminuindo a eficiência da caldeira e sua segurança (BEUX, 2014).

A desmineralização é o melhor processo de tratamento de água para caldeiras, pois ela elimina todos os sais minerais existentes na água e evita problemas como corrosão e incrustações.

Os métodos de tratamento podem ser divididos em dois grupos: Externos e Internos. 1. Externos: clarificação, abrandamento, desmineralização, degaseificação e remoção da sílica. 2. Internos: a base de fosfato, quelatos, sulfato de sódio, hidrazina e soda (BEUX, 2014).

3.2 Objetivos de tratamento de água das caldeiras

Tratar bem da água que irá ser aplicada dentro das caldeiras tem como objetivo principal evitar que o emprego de água bruta cause uma série de transtornos e, principalmente, prejuízos para as plantas industriais, tais como elevados custos operacionais e de manutenção (BEUX, 2014).

Dessa forma, o tratamento da água da caldeira visa: controlar a formação de depósitos e incrustações; manter a corrosividade do sistema em níveis aceitáveis; e impedir o arraste da água do gerador de vapor (BEUX, 2014).

3.3 Qualidade da água de abastecimento das caldeiras

A qualidade da água de alimentação das caldeiras é um dos principais fatores a serem analisados para que seja mantida a confiabilidade do sistema e o bom funcionamento da caldeira, evitando-se assim problemas decorrentes de uma água inadequada para a aplicação em caldeiras de alta pressão (BEUX, 2014).

Assim sendo, devem-se levar em consideração os parâmetros de qualidade para águas de geração de vapor: a) parâmetros físicos: cor e turbidez; b) parâmetros químicos: pH, alcalinidade, dureza, cloretos, oxigênio dissolvido, gás carbônico, sulfatos, sulfitos, fosfatos, sílica, ferro, manganês e sólidos totais (BEUX, 2014).

3.4 Principais grandezas de qualidade da água

3.4.1 Dureza total

Representa a soma das concentrações de cálcio e magnésio na água. Esses sais possuem a tendência de formar incrustações sobre as superfícies de aquecimento (BEUX, 2014). A água em relação à dureza pode ser classificada:

- até 50 ppm de CaCO_3 mole;
- de 50 a 100 ppm de CaCO_3meio dura;
- acima de 100 ppm de CaCO_3dura.

3.4.2 pH (potencial hidrogeniônico)

É um meio de se medir a concentração de ácido ou soda em uma amostra de água, aferindo-se a acidez ou a alcalinidade. Usa-se uma escala que varia de 1 a 14 para a determinação do pH; sendo que, de 1 a 6, a água é considerada ácida, e quanto mais ácida mais corrosiva ela é. A água é considerada alcalina quando o pH está entre 8 e 14, e quanto mais alcalina mais incrustante pode se tornar. Quando o pH se encontra igual a 7, a água é considerada neutra (BEUX, 2014).

3.5 Problemas relacionados com a qualidade da água

Segundo Almeida (2014), basta olhar no rótulo de uma garrafa de água mineral gasosa para perceber que existe uma grande quantidade de minerais em sua composição. Pode-se perceber a presença de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e sódio (Na) na forma de carbonatos, bicarbonatos, sulfatos e ainda cloretos e hidróxidos. A presença de gás é visível. A água que alimenta as caldeiras também contém gases dissolvidos, especialmente O₂ e CO₂, além de sais minerais.

A presença desses elementos danifica as caldeiras e até mesmo os equipamentos que utilizam o vapor por elas produzido.

3.5.1 Incrustação

A incrustação, especialmente nas paredes de tubos, dificulta a troca de calor e o escoamento de fluidos. A redução da capacidade de transmissão de calor eleva a temperatura na região incrustada. O desempenho da caldeira é prejudicado. Por sua vez, quanto maior a temperatura, mais intensos são os efeitos da corrosão. Portanto, a água de alimentação da caldeira deve ser tratada para evitar esses efeitos danosos (ALMEIDA, 2014).

3.5.2 Corrosão

Problemas relacionados à corrosão são associados aos gases dissolvidos. Os minerais causam depósitos que levam à incrustação de superfícies metálicas. A corrosão reduz a resistência mecânica dos materiais metálicos a ponto de comprometer a segurança da caldeira (ALMEIDA, 2014, p. 86).

3.5.3 Formação de espumas (espumação) e arraste

Arraste é um fenômeno pelo qual as partículas de água da caldeira são carregadas para o vapor gerado, o que é extremamente indesejável (BEUX, 2014).

Espumação é a contaminação que se verifica devido à influência exercida pela concentração de produtos químicos na tensão superficial da película de água, que envolve as bolhas de vapor em geração (BEUX, 2014).

As consequências principais do arraste e da espumação, são danos nas turbinas e em outros equipamentos, bem como a formação de depósitos nos separadores, válvulas de redução, aparelho separador de vapor, na seção pós-caldeira; e perda de produção (BEUX, 2014).

3.5.4 Tratamento da água

A melhor forma para eliminar os gases dissolvidos é a desaeração. Essa ação é desenvolvida em um equipamento chamado desaerador. Ele recebe o condensado, que é a água resultante da condensação do vapor utilizado na planta e que retorna para a caldeira. Além disso, também recebe a água de reposição, uma vez que nem todo o vapor condensado retorna à caldeira. Toda essa água é borrifada contra uma corrente de vapor e se aquece. Com isso, os gases dissolvidos, que são mais voláteis, são arrastados para a parte superior do desaerador e liberados para a atmosfera através de um suspiro. A Figura 04 mostra um desenho esquemático do desaerador.

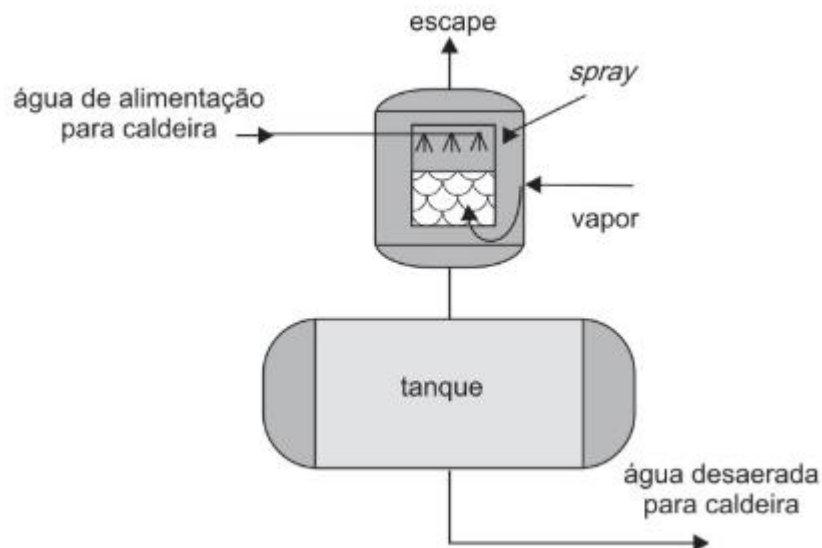


Figura 04: Representação esquemática de um desacelerador.
Fonte: Fillipo Filho, 2014.

Muitas vezes o desaerador não é capaz de eliminar totalmente os gases dissolvidos. Para a eliminação dos traços residuais de gases podem ser adicionados produtos químicos “sequestrantes” de O₂ e CO₂. A adição desses produtos depende do nível de pressão da caldeira (FILLIPO FILHO, 2014, p. 86).

Uma água é mais “dura” quanto maior for o teor de minerais na sua composição. Uma água mais “mole”, ou mais branda, tem um teor menor de minerais. A dureza da água está relacionada à quantidade de íons minerais nela dissolvidos, especialmente cálcio e magnésio. Uma indicação de dureza muito utilizada é estabelecida pela quantidade de carbonato de cálcio (CaCO_3) presente em um litro de água (mg/l). A unidade mg/l equivale a ppm (parte por milhão) (FILLIPO FILHO, 2014).

De acordo com Fillipo Filho:

Em regra, quanto maior a pressão de operação da caldeira, menor deve ser a dureza da água. Além do cálcio e do magnésio, a sílica também é forte causadora de incrustações. Uma das técnicas utilizadas para redução da dureza é o abrandamento por cal. Aplica-se o abrandamento no processo prévio de tratamento da água bruta, ou seja, na clarificação e filtração. A cal adicionada reage com o cálcio e o magnésio e se precipita na forma sólida. Caso seja necessário reduzir ainda mais a dureza, são empregadas técnicas de desmineralização da água. Tais técnicas podem envolver osmose reversa e eletrodialise, e ambas se baseiam na separação por membranas. Entretanto, a troca iônica é mais comum. Essa técnica se baseia na troca de um íon por outro no interior de um vaso fechado preenchido com resinas. O desmineralizador é constituído por um leito de trocador catiônico, seguido por outro de trocador aniônico. No primeiro, os cátions de cálcio, magnésio e sódio são substituídos por íons de hidrogênio. Com isso, a água fica muito ácida. No segundo leito, os ânions de sulfato, carbonato, cloreto e sílica são substituídos por íons de hidróxidos. Hidrogênio e hidróxido reagem entre si e formam água. (FILLIPO FILHO, 2014, p. 86)

A Figura 05 mostra um desenho esquemático de desmineralizador de troca iônica.

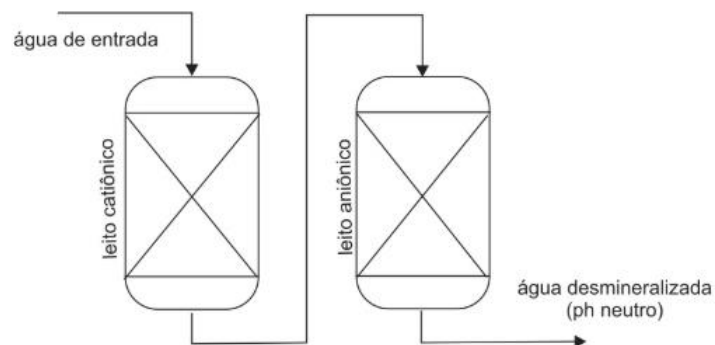


Figura 05: Desmineralizador de troca iônica.
Fonte: Fillipo Filho, 2014.

Quase em todos os casos de tratamento de água de alimentação de caldeira há injeção de fosfato. O fosfato tem várias funções: serve como “sequestrante” suplementar de oxigênio, aumenta o pH da água (diminui o potencial de corrosão), produz uma película de proteção sobre as partes metálicas da caldeira e precipita pequenas quantidades de cálcio e magnésio que se acumulam no tubulão inferior da caldeira. (FILLIPO FILHO, 2014).

O tubulão inferior da caldeira acaba por acumular precipitados na forma de lama. Esse material depositado precisa ser eliminado através da purga. A purga nada mais é que a abertura de uma válvula para descarga de vapor junto com o material depositado no fundo. Essa purga pode ser periódica ou contínua (FILLIPO FILHO, 2014, p. 87).

O tratamento de água adotado para caldeiras não é único. Ele depende das características físico-químicas da água disponível e do projeto da caldeira (FILLIPO FILHO, 2014, p. 87).

Uma vez que a água tenha passado pelo tratamento externo à caldeira, ela é enviada ao tubulão superior da caldeira aquatubular ou ao tanque da caldeira flamotubular. Essa transferência é feita com o emprego de uma bomba hidráulica centrífuga de múltiplos estágios. Essa bomba fornece a pressão sob a qual a caldeira irá operar (FILLIPO FILHO, 2014).

4 NORMAS REGULAMENTADORAS PARA SEGURANÇA E SAÚDE DO TRABALHO

Após um acidente catastrófico ocorrido em Massachusetts/EUA no ano de 1905, onde 58 trabalhadores morreram, a sociedade tomou consciência da necessidade de normas e procedimentos para a construção, manutenção e operação das caldeiras. Assim, foram criados os códigos da *American Society of Mechanical Engineers* (ASME) a principal referência quando se trata de normas de proteção em caldeiras e casos de pressão do mundo (SILVA et.al., 2015).

No Brasil, as Normas Regulamentadoras, relativas à segurança e medicina do trabalho, são de observância obrigatória pelas empresas privadas e públicas e pelos órgãos públicos da administração direta e indireta, bem como pelos órgãos dos poderes Legislativo e Judiciário, que possuam empregados regidos pela Consolidação das Leis do Trabalho - CLT.

Para garantir a segurança e a integridade física e mental dos profissionais foram criadas diversas normas de segurança. No Brasil, a elaboração e divulgação das Normas Brasileiras de Regulamentação (NRs) fica a cargo do Ministério do Trabalho e do Emprego (MTE), o qual disponibiliza os arquivos eletrônicos das normas para que os profissionais, estudantes e empresários possam realizar o download, imprimir-los ou consultá-los gratuitamente (ALMEIDA, 2014).

Definições:

Higiene ocupacional: antecipação, reconhecimento, avaliação e controle dos riscos à saúde no ambiente de trabalho, com o objetivo de proteger a saúde e o bem-estar do trabalhador, bem como resguardar a comunidade em geral;

Risco ocupacional: é um agente, fator ou situação com potencial para causar danos à saúde (ferimento ou doença), dano à propriedade e ao ambiente de trabalho, ou uma combinação destes;

Eliminação do risco: substituição de matérias-primas, máquinas e tecnologias perigosas; alteração de métodos de trabalho;

Sinalização do risco: alerta sobre o risco de acidentes; delimitação de áreas; identificação dos equipamentos de segurança; advertência para materiais perigosos; recomendação de medidas cautelares e preventivas. (ALMEIDA, 2014, p. 77) (*grifo nosso*)

Para a representação dos tipos de riscos existentes nos ambientes de trabalho, utiliza-se o mapa de riscos ambientais, que consiste na planta baixa da empresa, com os símbolos de cores padronizadas indicando os tipos de riscos existentes. As cores e o tamanho dos símbolos são normalizados pela NR-09. Segundo esta norma, os riscos são classificados da seguinte maneira:

Azul: riscos de acidentes; Marrom: riscos biológicos; Vermelho: riscos químicos; Amarelo: riscos ergonômicos; Verde: riscos físicos.

Em relação ao acidente de trabalho, de acordo com Almeida (2014), é toda ocorrência não programada, estranha ao andamento normal do trabalho, da qual possam resultar danos físicos e/ou funcionais, morte do trabalhador e/ou danos materiais ou econômicos à empresa.

Todo proprietário de caldeira deve seguir os preceitos estabelecidos pelo Ministério do Trabalho na Norma Regulamentadora n. 13. Essa norma visa garantir a segurança das pessoas, do ambiente e das instalações no recinto de geração de vapor. Basicamente, essa norma enfoca questões relacionadas à instalação, à segurança na operação e manutenção e à inspeção de segurança das caldeiras. Os pontos mais relevantes da norma são resumidos a seguir:

- Toda caldeira deve ter um profissional habilitado responsável pelos tópicos citados anteriormente. Normalmente, esse profissional é um engenheiro mecânico.
- As caldeiras devem ser instaladas em “casas de caldeira” ou em um local específico para esse fim.
- Toda caldeira deve possuir sua documentação disponível no local. Essa documentação envolve: prontuário, registro de segurança, projeto de instalação, projetos de alteração e reparo e relatórios de inspeção.
- Qualquer caldeira deve possuir uma placa de identificação com, pelo menos, as seguintes informações: fabricante, número de ordem do fabricante, ano de fabricação, PMTA (pressão máxima de trabalho admissível), pressão de teste hidrostático, capacidade de produção de vapor, área da superfície de aquecimento e código de projeto.
- Os sistemas de controle e segurança devem ser submetidos a planos de manutenção preventiva e preditiva.
- As inspeções de segurança devem ocorrer de forma periódica e extraordinária. Também deve ser feita inspeção no início de operação da caldeira – inspeção inicial.
- Válvulas de segurança, manômetros e indicadores de nível devem ser calibrados e testados regularmente. Esses instrumentos são considerados indispensáveis para qualquer caldeira.
- Toda caldeira deve ter disponível o seu manual de operação.
- As caldeiras são classificadas de acordo com as seguintes categorias: A ($p \geq 19,98 \text{ kgf/cm}^2$ e volume ≥ 100 litros), B ($0,61 \leq p \leq 19,98 \text{ kgf/cm}^2$ e volume ≥ 100 litros).
- Caldeiras da categoria A devem possuir painel de instrumentos instalado em sala de controle.
- Operadores de caldeira devem possuir um Certificado de Treinamento de Segurança na Operação de Caldeiras.
- Para obtenção do certificado mencionado anteriormente é preciso como pré-requisito mínimo o atestado de conclusão do ensino médio e seja aprovado em um curso de 60 horas, no mínimo, que tenha o seguinte conteúdo: Noções de física aplicada. Pressão. Pressão atmosférica. Pressão manométrica e pressão absoluta. Pressão interna em caldeiras. Unidades de pressão. Transferência de calor. Noções gerais: o que é calor, o que é temperatura. Modos de transferência de calor. Calor específico e calor sensível. Transferência de calor a temperatura constante. Termodinâmica. Conceitos. Vapor saturado e vapor superaquecido. Mecânica dos Fluidos. Conceitos Fundamentais. Pressão em Escoamento. Escoamento de Gases. Noções de química aplicada. Densidade. Solubilidade. Difusão de gases e vapores. Caracterização de Ácido e Base (Álcalis). Definição de pH. Fundamentos básicos sobre corrosão. Tópicos de inspeção e manutenção de equipamentos e registros. Caldeiras considerações gerais. Tipos de caldeiras e suas utilizações. Caldeiras flamotubulares. Caldeiras aquatubulares. Caldeiras elétricas. Caldeiras a combustíveis sólidos. Caldeiras a combustíveis líquidos.

Caldeiras a gás. Acessórios de caldeiras. Instrumentos e dispositivos de controle de caldeiras. Dispositivo de alimentação. Visor de nível. Sistema de controle de nível. Indicadores de pressão. Dispositivos de segurança. Dispositivos auxiliares. Válvulas e tubulações. Tiragem de fumaça. Sistema Instrumentado de Segurança. Operação de caldeiras. Partida e parada. Regulagem e controle. De temperatura. De pressão. De fornecimento de energia. Do nível de água. De poluentes. De combustão. Falhas de operação, causas e providências. Roteiro de vistoria diária. Operação de um sistema de várias caldeiras. Procedimentos em situações de emergência. Tratamento de água de caldeiras. Impurezas da água e suas consequências. Tratamento de água de alimentação. Controle de água de caldeira. Prevenção contra explosões e outros riscos. Riscos gerais de acidentes e riscos à saúde. Riscos de explosão. Estudos de caso. Legislação e normalização. Norma Regulamentadora 13 NR 13. Categoria de Caldeiras.

Em relação a segurança nos procedimentos para operadores de caldeiras é necessário o uso de equipamentos de proteção individual (EPIs), tais como:

- calçados de segurança,
- óculos de segurança;
- luvas de raspa;
- avental de raspa;
- protetor auditivo.

4.1 A NR 13 e os acidentes com caldeiras

Em 2014, a NR 13 passou por mudanças importantes em relação à elaboração e execução dos planos de inspeção em tubulações. Outras alterações também foram realizadas na intenção de deixá-la ainda mais compacta e prática. A última revisão significativa do texto, ocorreu em 1994, quando foram inseridos conceitos inovadores para aquela época. Ao longo dos anos, observou-se um aumento considerado de acidentes envolvendo caldeiras, sendo este um dos motivos para a atual revisão da norma (BEUX, 2014)

Explosões e incêndios estão entre os acidentes mais comuns, em se tratando de ambientes que se utilizam desse tipo de sistema para gerar energia; e, não raramente, deixam consequências gravíssimas, mortos e feridos (BEUX, 2014).

Trabalhadores que atuam em área de caldeiras, vasos de pressão e tubulações também ficam expostos ao risco de choques elétricos, intoxicações, quedas, ferimentos, calor radiante e sensível, queimaduras, ruído. No caso das explosões, elas costumam ser causadas pelo superaquecimento, levando o material que constitui os equipamentos a temperaturas extremas, superiores às admissíveis; assim, a resistência do material é reduzida, criando o risco de rompimento (BEUX, 2014).

Acidentes justificam a revisão da Norma Regulamentadora 13, que teve seu título atualizado para Caldeiras, Vasos de Pressão e Tubulações. A inclusão do item tubulação é uma das novidades do texto, alterado pela Portaria MTE n.º 594, de 28 de abril de 2014, publicada em 2 de maio no Diário Oficial da União.

O coordenador da CNTT (Comissão Nacional Tripartite Temática) da NR 13, responsável pela nova redação, explica que, ao determinar os tópicos para a revisão, a Comissão considerou, principalmente, as demandas advindas da comunidade técnica, dos auditores fiscais do Trabalho e de diversas entidades e representações envolvidas com a operação, manutenção e inspeção de caldeiras e vasos de pressão; além da experiência acumulada na aplicação da NR 13 durante os mais de 19 anos de vigência de sua última revisão (BEUX, 2014)

No dia 18 de dezembro de 2018 foi aprovada a Portaria MTb n. 1.082, contendo 10 artigos, que serviram de atualização para minimizar as possibilidades de ocorrências envolvendo caldeiras, vasos de pressão, tubulações e tanques metálicos de armazenamento.

Em relação as principais mudanças referentes às caldeiras, pode citar o aumento do volume das categorias A e B de 50L para 100L, retirada da obrigatoriedade de controle e tratamento da qualidade da água para categoria A, mas que todas devem possuir tratamento e controle conforme critérios estabelecidos pelos fabricante, esclarecimento que na falta de comprovação documental do Teste Hidrostático é a partir da vigência da Portaria do MTE nº 594, de 28 de abril de 2014 e não mais da 2017 como era descrito na revisão anterior.

Houve também uma alteração que estende os períodos entre inspeções de segurança para estabelecimentos que possuem Serviço Próprio de Inspeção de Equipamentos - SPIE com a remoção da alínea “d” referente caldeiras especiais e a alteração dos itens 13.4.4.6, com a permissão de alteração dos prazos de inspeção para 48 (quarenta e oito) meses para categorias A que disponham de barreiras de proteção implementadas no SIS que atendam ao subitem 13.4.4.6.2, e do item 13.4.47 com a permissão de extensão para a categoria B que operam continuamente com Sistema de Gerenciamento – SGC para 30 (trinta) meses que atendam aos requisitos do item.

5 METODOLOGIA

A metodologia utilizada para a realização deste estudo iniciou-se com o estudo bibliográfico.

Em seguida, utilizou-se a metodologia de estudo de caso realizado em uma fazenda, localizada na cidade de Conceição da Aparecida, bairro Cedro, Zona Rural, Km 08.

O quadro funcional é composto de 15 trabalhadores, sendo 02 lotados diretamente no processo produtivo, estes 02 são responsáveis pela operação do sistema de caldeira e vaso de pressão, seguindo um cronograma de produção pré-estabelecido e escala de trabalho, os demais estão lotados em funções administrativas, de comercialização e logística.

A empresa em seu processo produtivo utiliza sistema de caldeira a vapor, com frequência mínima de uso de 05 vezes semanais. A caldeira a vapor utilizada no sistema produtivo da empresa possui as seguintes características técnicas:

Tipo de alimentação da caldeira: **Lenha e Palha de Café**

Categoria da caldeira: **B**

Tipo de caldeira: **Mista Horizontal**

Fabricante: **Engeman Engenharia e Manutenção Ltda**

Pressão máxima de trabalho: **6,0 kgf/cm²**

Pressão teste hidrostático: **9,0 kgf/cm²**

Ano de fabricação: **2010**

Modelo: **M I H A F E**

N.º de ordem do fabricante: **127**

Superfície de aquecimento: **80 m²**

Código projeto da caldeira: **ASME 2007**

Automação: **Garrafa de Nível e Sirene**

A referida caldeira está classificada, segundo a NR-13 (BRASIL, 2018), item 13.4.1.2 como sendo de categoria “B”, pois não se enquadra nas categorias A, e está instalada em ambiente externo com cobertura.

Para fins do presente estudo aplicou-se ferramentas de gerenciamento de riscos, organizadas em duas fases de avaliação, sendo, a primeira composta pela aplicação de um *check-list* de verificação de atendimento à NR-13 (BRASIL, 2018), voltado à identificação de

possíveis não conformidades, segundo as exigências legais estabelecidas nesta NR, aplicadas à caldeiras e vasos de pressão.

6 ESTUDO DE CASO

6.1 Avaliação - *Check-list*

O *check-list* foi desenvolvido com base nas exigências legais estabelecidas na NR-13 (BRASIL, 2018), sendo adotados no questionário apenas os itens aplicáveis à caldeira e vaso de pressão em questão, segundo seu enquadramento legal, ou seja, Classe, Categoria e Grupo. Para a caldeira o *check-list* foi composto por 20 questões aplicadas ao sistema em avaliação.

O questionário foi respondido pelo operador do equipamento. De modo complementar foi utilizada a documentação disponível dos referidos equipamentos.

<i>Check-list</i> Caldeira	
Válvula de segurança com pressão de abertura ajustada em valor igual ou inferior a Pressão Máxima de Trabalho Admissível PMTA, considerados os requisitos do código de projeto relativos a aberturas escalonadas e tolerâncias de calibração	Sim
Instrumento que indique a pressão do vapor acumulado	Sim
Injetor ou sistema de alimentação de água independente do principal que evite o superaquecimento por alimentação deficiente, acima das temperaturas de projeto, de caldeiras de combustível sólido não atomizado ou com queima em suspensão	Sim
Sistema dedicado de drenagem rápida de água em caldeiras de recuperação de álcalis, com ações automáticas após acionamento pelo operador	Sim
Sistema automático de controle do nível de água com intertravamento que evite o superaquecimento por alimentação deficiente	Sim
Além da placa de identificação, deve constar, em local visível, a categoria da caldeira, conforme definida no subitem 13.4.1.2 desta NR, e seu número ou código de identificação	Sim
Caldeira está instalada em casa de caldeiras ou em local específico para tal fim, denominado área de caldeiras	Sim
Dispõe de 2 (duas) saídas amplas, desobstruídas e em direções distintas.	Sim
Caldeira instalada com afastamento mínimo de 03 (três) metros de outras Instalações	Sim
A caldeira possui manual de operação atualizado em língua portuguesa em local de fácil acesso aos operadores contendo os requisitos mínimos conforme item 13.4.3.1	Sim
Os instrumentos e controles de caldeiras estão mantidos calibrados e em boas condições operacionais	Sim
A qualidade da água é controlada e existe tratamento implementados, para compatibilizar suas propriedades físicoquímicas com os parâmetros de operação da caldeira definidos pelo fabricante.	Sim

Existe comprovação de inspeções de segurança inicial, periódica e extraordinária	Sim
Válvulas de segurança foram testadas conforme item 13.4.4.10 da NR 13	Sim
A inspeção de segurança da caldeira foi executada sob a responsabilidade técnica de Profissional Habilitado	Sim
Os operadores receberam treinamento específico conforme A1.2, A1.3, A1.4, A1.5	Sim
Existe o registro de Uso de EPI's durante a operação do equipamento	Não
Iluminação conforme normas vigentes.	Sim
Placa com identificações da caldeira.	Sim
Acesso fácil e seguro, necessário a operação e manutenção da caldeira.	Sim

Através do *check-list* realizado, verificou-se que os colaboradores não utilizam Equipamentos de Proteção Individual durante a operação do equipamento. Essa atitude não compromete em nada os equipamentos, porém, pode comprometer a saúde e a integridade física do colaborador em caso de acidentes. Por exemplo, se durante o abastecimento da caldeira houver projeção de lenha em direção ao colaborador e este estiver munido dos óculos de proteção, evitará danos e minimizará consequências.

Portanto, é necessário que a empresa invista em treinamentos, conscientização e fiscalização dos seus colaboradores.

Em seguida, foi verificado se o estabelecimento possui sua documentação devidamente atualizada, conforme os preceitos da NR -13. Constatou-se o seguinte:

Toda caldeira deve possuir, no estabelecimento onde estiver instalada, a seguinte documentação devidamente atualizada:	
Prontuário da caldeira deve conter as seguintes informações	
Código de projeto e ano de edição, especificação dos materiais.	Sim
Procedimentos utilizados na fabricação, montagem, inspeção final e determinação da Pressão Máxima de Trabalho Admissível – P.M.T.A.	Sim
Conjunto de desenhos e demais dados necessários para o monitoramento da vida útil da caldeira.	Sim
Características funcionais.	Sim
Dados dos dispositivos de segurança.	Sim
Ano de fabricação.	Sim
Categoria da Caldeira.	Sim
Registro de Segurança, em conformidade com o subitem 13.4.1.9	Sim
Projeto de instalação, em conformidade com o subitem 13.4.2.1	Sim
Projeto de alteração ou reparo, em conformidade com os subitens 13.3.3.3 e 13.3.3.4	Não se aplica

Relatórios de inspeção de segurança, em conformidade com o subitem 13.4.4.16	Sim
Prontuário fornecido pelo fabricante	Sim
Livro de Registro de Segurança	Sim
Certificados de calibração dos dispositivos de segurança	Sim

Durante a análise do prontuário da caldeira, verificou-se que o mesmo possui todos os itens necessários, exigidos pela NR-13, concluindo que existe conformidade dos dados apresentados e não existem recomendações a serem feitas.

6.2 Resultados

Abaixo verifica-se na Figura 06, a parte frontal da caldeira em estudo. Através da imagem é possível observar a fornalha, que pode ser alimentada por madeira ou palha de café, dependendo da disponibilidade de material.



Figura 06: Vista da frente da Caldeira.
Fonte: O Autor, 2019.

A Figura 07, apresenta a garrafa de nível de água. Esse equipamento é um tubo transparente, através do qual o operador consegue visualizar o nível de água da caldeira. Importante ressaltar, que o nível de água deve ser mantido e inspecionado pelo operador, a falta de água pode acarretar a explosão da caldeira.



Figura 07: Dispositivo de Segurança - Garrafa de Nível da Água.
Fonte: O Autor, 2019.

É possível verificar através da Figura 08 o pressostato. Esse equipamento está conectado à garrafa de água e tem como finalidade acionar e desligar a bomba de água quando necessário, ou seja, quando o nível de água está baixo esse equipamento é acionado e quando o nível de água completo a bomba é desligada.



Figura 08: Pressostato.
Fonte: O Autor, 2019.

Mais à frente na Figura 09, encontra-se o Dispositivo de Segurança – Manômetro. Capaz de identificar e regular a pressão exercida na caldeira. Ressalta-se que a imagem mostra um manômetro zerado, pois foi registrada na ocasião de uma inspeção realizada na empresa.



Figura 09: Dispositivo de Segurança – Manômetro.
Fonte: O Autor, 2019.

O próximo item verificado, foi a identificação da caldeira. De acordo com a NR-13, subitem 13.4.1.4:

Toda caldeira deve ter afixada em seu corpo, em local de fácil acesso e bem visível, placa de identificação indelével com, no mínimo, as seguintes informações:

- 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 de produção de vapor;
- g) área de superfície de aquecimento;
- h) código de projeto e ano de edição. (BRASIL, 2018)

Veja a Figura 10, com a identificação da caldeira:

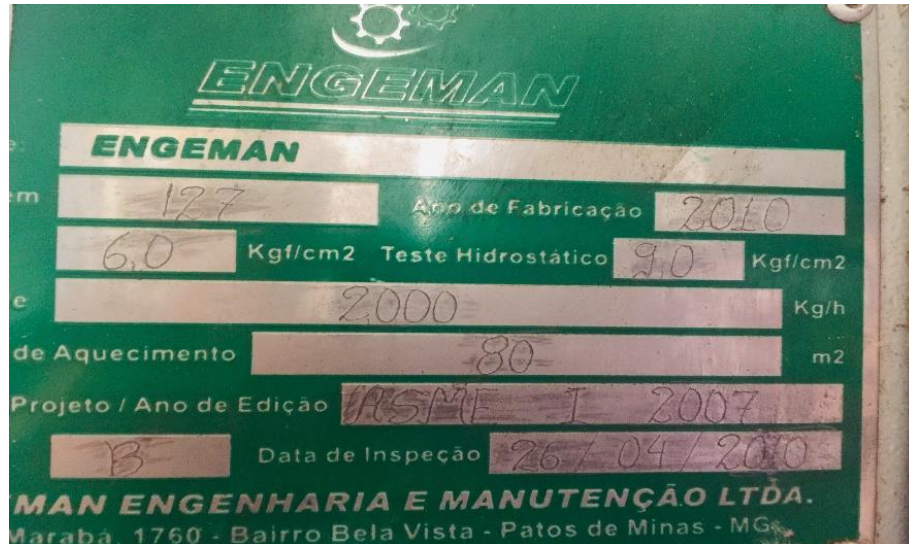


Figura 10: Placa de identificação da caldeira.
Fonte: O Autor, 2019.

A placa de identificação encontra-se em conformidade com as especificações exigidas pela NR-13.

Já nas Figura 11 e 12, é possível verificar as válvulas de segurança da caldeira. De acordo com a NR-13, subitem 13.4.4.10:

As válvulas de segurança instaladas em caldeiras de categoria B devem ser testadas periodicamente conforme segue:

- a) pelo menos 1 (uma) vez por mês, mediante acionamento manual da alavanca durante a operação de caldeiras sem tratamento de água conforme o subitem 13.4.3.3;
- b) as caldeiras que operem com água tratada devem ter a alavanca acionada manualmente quando condições anormais forem detectadas. (BRASIL, 2018)



Figura 11: Primeira - Válvula de Segurança 6Kgf/cm²/Comodoro VS-100, diâmetro de 1 ½''
Fonte: O Autor, 2019.



Figura 12: Segunda - Válvula de Segurança 6,5Kgf/cm²/Comodoro VS-100, diâmetro de 1 ½”
Fonte: O Autor, 2019.

A primeira válvula de segurança suporta uma pressão de até 6 Kgf/cm². Se a pressão da caldeira passar desse ponto, a válvula de segurança é acionada e aliviará sua pressão. Caso essa válvula de segurança vier a falhar, a segunda válvula de segurança, será acionada. A segunda válvula suporta uma pressão de até 6,5 Kgf/cm² e supre as necessidades da caldeira.

Na Figura 13 é possível verificar o sistema manual para acionamento da válvula de segurança. O operador da caldeira é responsável por acionar o dispositivo e verificar se as válvulas de segurança estão funcionando corretamente.

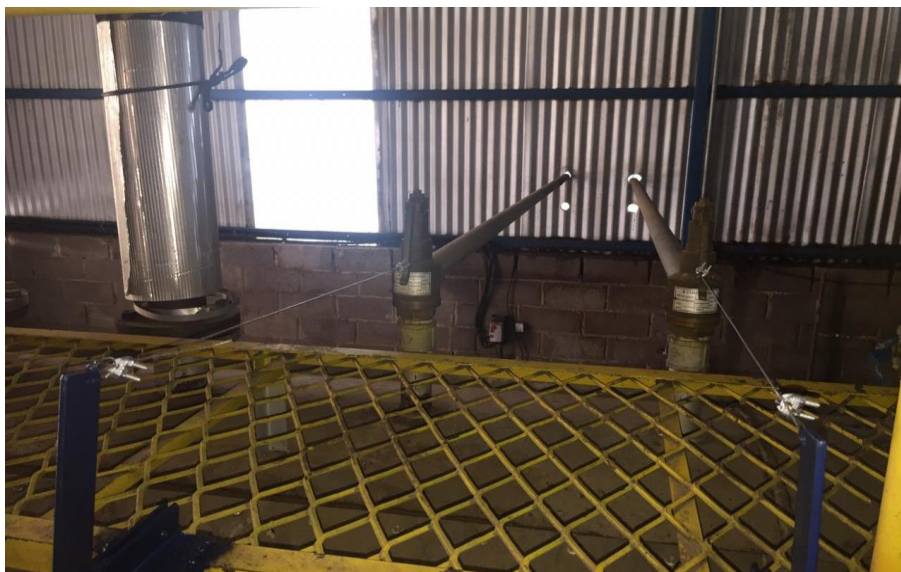


Figura 13: Sistema manual para acionamento da válvula de segurança.
Fonte: O Autor, 2019.

7 CONCLUSÃO

Durante a pesquisa de campo, verificou-se a caldeira encontra-se em conformidade com o que estabelecido na NR -13, não restando nesse ponto ajustes a serem feitos.

A empresa informou que fornecem cursos de capacitação para seus colaboradores e que anualmente passam por uma reciclagem.

O operador relatou a importância de saber quais os itens de segurança que a caldeira precisa ter, como a válvula de segurança, manômetro, sensor de nível de água, bem como conhecer os cuidados e forma de manuseio da mesma.

O operador conhece os perigos que envolvem a atividade, porém, não usa equipamento de segurança, o avental e a máscara de proteção, que seriam parte integrante do seu equipamento de proteção individual.

A fazenda conta com o auxílio de um Engenheiro Mecânico que, anualmente, faz a manutenção e inspeção da caldeira, além disso, quando há necessidade de ajustes ou quando a caldeira apresenta algum problema, é solicitado a esse profissional que providencie o reparo.

Na caldeira, foi possível verificar a placa de identificação legível, bem como os dispositivos de segurança, válvula, manômetro e sensor de nível.

O manual de operação da caldeira, o livro de registros, os relatórios de inspeções, laudos, projetos ficam arquivados, datados, assinados e disponíveis no escritório da empresa.

A caldeira está instalada na extensão da fazenda, na “Casa da Caldeira”, construída em um local separado isoladamente de outras instalações do estabelecimento, portanto, conforme a NR 13.

Em relação ao tratamento da água, é realizada análise físicoquímicas para verificar se os parâmetros da mesma atendem as necessidades da caldeira.

REFERÊNCIAS

- ALFATANI, C. A. **Apostila de Caldeiras**. Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Caxias do Sul, 2002. Disponível em: <<http://www.segurancaetrabalho.com.br/download/caldeiras-apostila.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2019.
- ALMEIDA, Paulo Samuel de. **Processo de caldeiraria: máquinas, ferramentas, materiais, técnicas de traçado e normas de segurança**. 1. ed. São Paulo: Saraiva, 2014.
- BEUX, Giovana. **Avaliação das condições de segurança na operação de caldeiras a vapor**. 2014. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/5896/1/PB_CEEEST_V_2014_17.pdf>. Acesso em: 20 out. 2019.
- BRASIL. Portaria N° 1.082, de 18 de dezembro de 2018. **NR-13 Caldeiras, Vasos de pressão, tubulações e tanques metálicos de armazenamento**. Brasília, DF, 18 dez 2018. Disponível em: <http://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/56127453/do1-2018-12-20-portaria-n-1-082-de-18-de-dezembro-de-2018-56127448>. Acesso em: 13 out. 2019.
- FILIPPO FILHO, Guilherme. **Máquinas térmicas estáticas e dinâmicas: fundamentos de termodinâmica, características operacionais e aplicações**. São Paulo: Érica, 2014.
- SILVA, Ricardo Luiz Alves. et.al. **Gerenciamento de riscos de acidentes em áreas de caldeiras**. 2015. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_209_242_27210.pdf>. Acesso em: 29 out. 2019.