

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS
ENGENHARIA MECÂNICA
WALTER JOSÉ DE AZEVEDO JUNIOR

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DA ÁGUA DE MINA NA GERAÇÃO DE VAPOR
EM CALDEIRA MISTA PARA BENEFICIAMENTO DE CAFÉ NO MUNICÍPIO DE
TRÊS PONTAS - MG**

Varginha
2019

WALTER JOSÉ DE AZEVEDO JUNIOR

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DA ÁGUA DE MINA NA GERAÇÃO DE VAPOR
EM CALDEIRA MISTA PARA BENEFICIAMENTO DE CAFÉ NO MUNICÍPIO DE
TRÊS PONTAS - MG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG como pré-requisito para a obtenção do grau de bacharel, sob a orientação da Prof. Dr. Luiz Carlos Vieira Guedes.

Varginha

2019

WALTER JOSÉ DE AZEVEDO JUNIOR

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DA ÁGUA DE MINA NA GERAÇÃO DE VAPOR
EM CALDEIRA MISTA PARA BENEFICIAMENTO DE CAFÉ NO MUNICÍPIO DE
TRÊS PONTAS - MG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG como pré-requisito para a obtenção do grau de bacharel, sob a orientação da Prof. Dr. Luiz Carlos Vieira Guedes.

Aprovado / /

Prof.

Prof.

Prof.

OBS.:

Dedico este trabalho a Deus, a minha
companheira, minha família, a meu orientador,
Prof. Dr. Luiz Carlos Vieira Guedes e a todos
aqueles que contribuíram para sua realização.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, aos meus colegas, professores, meu orientador, minha companheira e família por terem ajudado na construção deste trabalho, Prof. Dr. Luiz Carlos Vieira Guedes e a aos proprietários da fazenda Furtados pelo suporte e oportunidade do estudo da caldeira e os fornecimentos de dados.

“Não se odeia quando pouco se preza, odeia-se só o que está à nossa altura ou é superior a nós.”

Friedrich Nietzsche

RESUMO

Este artigo tem como norte principal o estudo das águas de captação e a influência do fluido em condições discordantes das ideais para o trabalho em caldeiras. É fundamental a utilização da água nas indústrias de um modo geral, devido às várias funções que desempenha. Desta forma, ela deve apresentar dois requisitos importantes: qualidade e quantidade. A quantidade deve ser suficiente para desempenhar todas as funções solicitadas pela indústria sem que haja riscos envolvidos por uma eventual carência e a qualidade no que se diz respeito às suas características químicas e físicas. Logo, o controle da água em seus aspectos químicos e físicos é fundamental para racionalizar seu uso nas indústrias. Foram realizadas coletas em uma empresa de beneficiamento de café cujos dados foram interpretados para a obtenção de um diagnóstico da qualidade da água e avaliação das possíveis modificações que podem ser implementadas para um tratamento eficiente, uma vez que uma água fora de padrão pode causar danos a estrutura de tubulações e caldeiras e também prejuízos com gasto desnecessário de energia, matéria prima e tratamentos/manutenções. O presente trabalho objetivou a análise de parâmetros físico-químicos (pH, condutividade, dureza, TDS, cloretos e alcalinidade) das águas de abastecimento da caldeira, para a elaboração de um processo que pudesse visualizar a importância do reuso do condensado da caldeira localizada no município de Três Pontas na região do sul de Minas Gerais

Palavras-chave: Caldeiras. Água para caldeiras. Tratamento de água.

ABSTRACT

This article has as its main north the study of the catchment waters and the influence of the fluid in conditions that differ from the ideals for boiler work. Water use in industries in general is crucial because of the many roles it plays. Thus, it must meet two important requirements: quality and quantity. The quantity must be sufficient to carry out all the functions required by the industry without any risk involved by any shortage and quality with regard to its chemical and physical characteristics. Therefore, the control of water in its chemical and physical aspects is fundamental to rationalize its use in industries. Samples were taken from a coffee processing company whose data were interpreted to obtain a diagnosis of water quality and to evaluate possible modifications that can be implemented for efficient treatment, as non-standard water can cause damage to water. piping and boiler structure as well as losses with unnecessary energy, raw material and treatment / maintenance expenses. The present work aimed to analyze the physicochemical parameters (pH, conductivity, hardness, TDS, chlorides and alkalinity) of the boiler water supply, to elaborate a process that could visualize the importance of the reuse of boiler condensate located in the municipality of Três Pontas in the southern region of Minas Gerais

Keywords: *Boilers. Boiler water. Water treatment.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 - Caldeira Flamotubular (Fogotubular)	15
Figura 02 - Caldeira Aquatubular	15
Figura 03 - Caldeira Mista.....	16
Figura 04 - Localização da incrustação na Caldeira Aquatubular e flamotubular	17
Figura 05 - Gradiente de temperatura com e sem parede de incrustação.....	18
Figura 06 - Formação de incrustação.....	20
Figura 07 - Formação de Corrosão.....	21
Figura 08 – Amostras de água	33

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 - Determinação de pH.....	37
Gráfico 02 – Determinação de alcalinidade	38
Gráfico 03 - Determinação de dureza	39
Gráfico 04 - Determinação de sílica	41
Gráfico 05 - Determinação de ferro	42
Gráfico 06 - Determinação de Sólidos Totais	43
Gráfico 07 - Determinação de Cloretos.	44
Gráfico 08 – Determinação Condutividade.....	45

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 - Classificação geral das caldeiras quanto à pressão de trabalho	19
Quadro 02 - Parâmetros mais analisados com suas respectivas interferências e meios de tratamento	29
Quadro 03 - Parâmetros mínimos para tratamento para caldeira classe B.....	36

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 SISTEMAS GERADORES DE VAPOR: CALDEIRAS	14
2.1 Tipos de caldeiras	14
2.1.1 Flamotubulares	14
2.1.2 Aquotubulares	15
2.1.3 Caldeira mista	15
2.2 Classificação das caldeiras	19
3 QUALIDADE DA ÁGUA	20
3.1 Problemas advindos de uso de água não tratada	21
3.1.1 Corrosão	21
3.1.2 Depósitos	22
3.1.3 Arraste	23
4 EFICIÊNCIA DA CALDEIRA	24
5 TRATAMENTO DA ÁGUA	26
5.1 Métodos externos para o tratamento de fluido de abastecimento para caldeiras	26
5.1.1 Clarificação	26
5.1.2 Sedimentação	27
5.1.3 Filtração	27
5.1.4 Abrandamento	27
5.1.5 Desmineralização	28
5.1.6 “Desaeração” Térmica	28
5.2 Relação de parâmetros, possíveis complicações e tratamento coerente singular	28
6 CICLO DE VAPOR	31
6.1 Controle da pureza do vapor	31
7 MANUTENÇÃO NA CALDEIRA	32
8 MATERIAIS E MÉTODOS	33
8.1 Análises de laboratoriais	33

8.1.1 Análise de pH.....	34
8.1.2 Alcalinidade	34
8.1.3 Condutividade	34
8.1.4 Sólidos Totais Dissolvidos	34
8.1.5 Dureza Total	34
8.1.6 Cloretos	35
8.1.7 Sílica.....	35
8.1.8 Ferro	35
9 RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
10 CONCLUSÃO	47
REFERÊNCIAS	48

1 INTRODUÇÃO

As águas de alimentação de caldeiras advêm de diversas fontes naturais distintas como: minas rios, lagos, córregos, poços artesianos e de outros inúmeros mananciais contendo substanciais reservas deste fluido que pode ser encontrado com características bem distintas. Conforme a sua procedência, essas águas podem conter parâmetros diferentes produtos dissolvidos ou em suspensão, obtendo em sua composição concentrações bem diversas. A utilização direta das águas em seu aspecto primário natural, como água de alimentação, implica num processo de evaporação da fase líquida, que como consequência libera para o sistema concentrações dos produtos minerais dissolvidos.

Porém outros subprodutos também são liberados, tais como gases dissolvidos, os quais são altamente prejudiciais para a vida útil do equipamento, que existirem na fonte mantenedora ou mesmo resultante da decomposição de materiais orgânicos que também podem estar presentes.

Os resíduos, após a transformação da fase líquida para vapor, formam depósitos, precipitados, sobre as superfícies das tubulações metálicas da caldeira e fundo, com aderência bem divergentes entre si, indo de acordo com a natureza do material depositado. Certos produtos desses depósitos, permanecem como uma camada fina de lodo que é facilmente removível, outros se incorporam a própria parede metálica na forma de resíduos resistentes, de remoção complexa demandando produtos ativos específicos, constituído um depósito denominado pelos caldeireiros de incrustações (PERA, 1990).

Visualizando estes parâmetros com clareza e com a oportunidade de desenvolver um estudo de caso em uma empresa de beneficiamento de café no sul de Minas onde há uma caldeira mista em trabalho. Foi possível avaliar os efeitos advindos da água de abastecimento e seus efeitos sobre o equipamento. A partir da coleta de amostras de água nos três diferentes pontos (água da mina, da piscina/reservatório e da caldeira), onde as análises feitas no laboratório químico do Grupo Educacional do Sul de Minas, Unis – MG possibilitou ao projeto avaliar três aspectos como a qualidade da água de captação, as reais necessidades de tratamento para as solicitações do equipamento e os problemas que se acumulam com a negligência dessa simples avaliação.

2 SISTEMAS GERADORES DE VAPOR: CALDEIRAS

Em análise de Einstein et al. (2001 apud SAIDUR; AHAMED; MASJUKI, 2010, p. 1), das totalidades das indústrias que utilizam proporções significantes da queima de combustíveis fósseis como energia para a produção de vapor: o processamento de celulose de papel utiliza 81%, setor de alimentos utiliza cerca de 57%, indústrias químicas reservam cerca de 42%, refinarias de petróleo resguardam 23% e indústrias de metais primários, cerca de 10%. Segundo a UFC 3-240-13FN, do *Department of Defense of United States of América* (BASHAM, 2005), as unidades geradoras de vapor, ou caldeiras, como são comumente chamadas, são vasos de pressão fechados que contêm um fluido de trabalho, normalmente água, e são aquecidas por um meio externo que transforma a este fluido em vapor. De forma genérica todos os geradores de vapor contêm tubos que executam o trabalho de separar a água da fonte de calor.

2.1 Tipos de caldeiras

Como Hildo Pera, 1990, gerador de vapor é um trocador de calor complexo que produz vapor a partir de energia térmica (Combustível), ar e fluido vaporizante, constituído por diversos equipamentos associados, perfeitamente integrados, para permitir a obtenção do maior rendimento térmico possível.

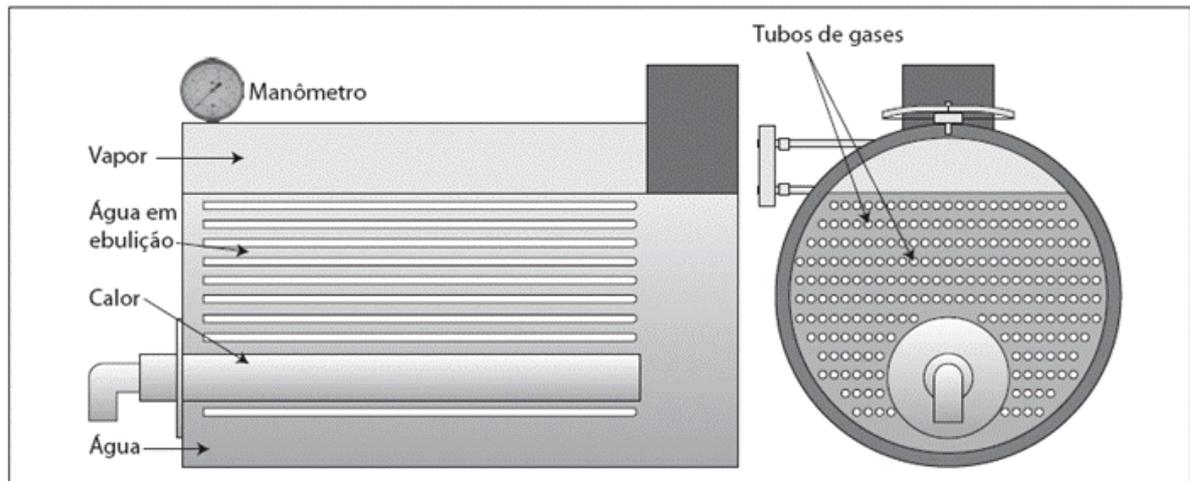
Esta definição compreende todos os tipos de Geradores de vapor, sejam os que vaporizam a água, mercúrio ou fluidos de alta temperatura (Fluidos térmicos) como as mais simples unidades geradoras de vapor de água, comumente conhecidas por caldeiras de vapor. Essencialmente uma caldeira de vapor, é constituída por um vaso fechado a pressão, com tubos, no qual se introduz água, que pela aplicação externa de calor se transforma em vapor.

Há dois tipos fundamentais, ambos compreendendo corpo e tubos, montados sobre uma alvenaria ou envoltório, que envolve a fornalha e a própria caldeira.

2.1.1 Flamotubulares

Caldeiras tubo de fumaça, também conhecidas por multitubulares, nos quais os gases da combustão (fumos) atravessam toda a caldeira pelo interior dos tubos, cedendo calor a água contida no corpo e que envolve todos os tubos. (Figura 01).

Figura 01: Caldeira Flamotubular (Fogotubular).



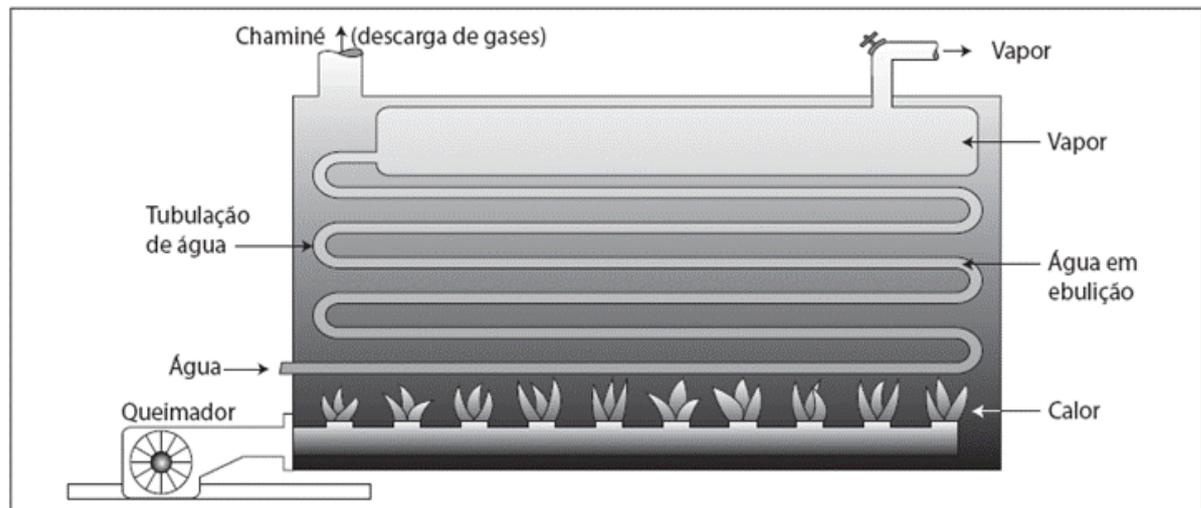
Esquema básico de caldeira fogotubular

Fonte: Botelho; Bifano, (2011).

2.1.2 Aquotubulares

Caldeiras de tubo de água ou aquotubulares, nas quais os fumos atravessam toda a caldeira, externamente aos tubos, excedendo calor a água contida no interior dos mesmos e também dos corpos. (Figura 02).

Figura 02: Caldeira Aquatubular.



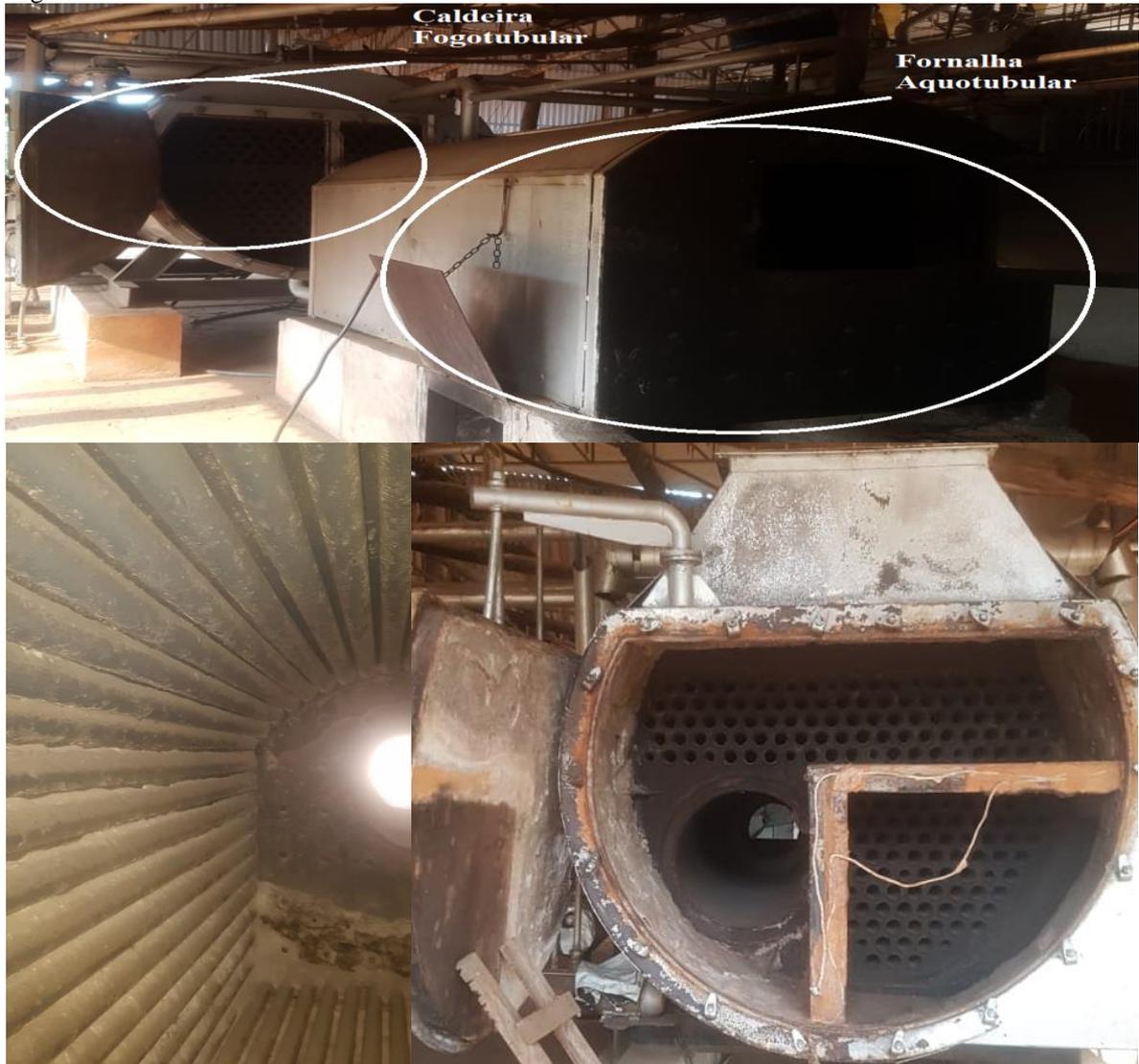
Modelo de caldeira aquatubular

Fonte: Botelho; Bifano, (2011).

2.1.3 Caldeira mista

De modo bem intuitivo é possível visualizar o emprego das duas modalidades acima citadas neste modelo de equipamento. Trabalhando na fornalha com um sistema aquotubular em primeiro estágio e o calor que é, neste modelo é puxado por um exaustor o vapor quente passa para uma outra câmara onde o trabalho é desenvolvido no modelo flamotubular. (Figura 03).

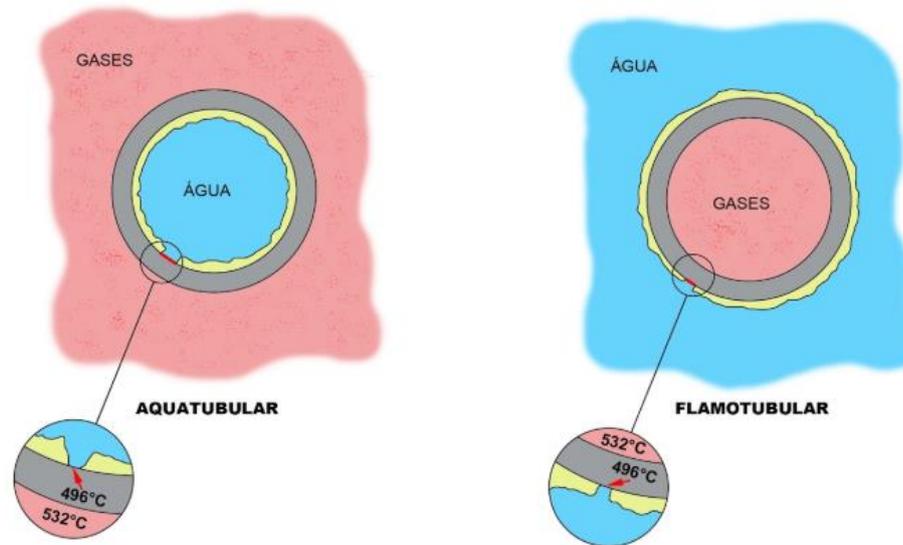
Figura 03: Caldeira Mista.



Fonte: O Autor, (2019).

As incrustações presentes nas caldeiras Aquatubular e Flamotubular como apresentadas, Figura 04, são os modelos tradicionais de incrustações em caldeiras. Respectivamente seguindo a peculiaridade do trabalho de cada uma delas.

Figura 04: Localização da incrustação na Caldeira Aquatubular e Flamotubular.

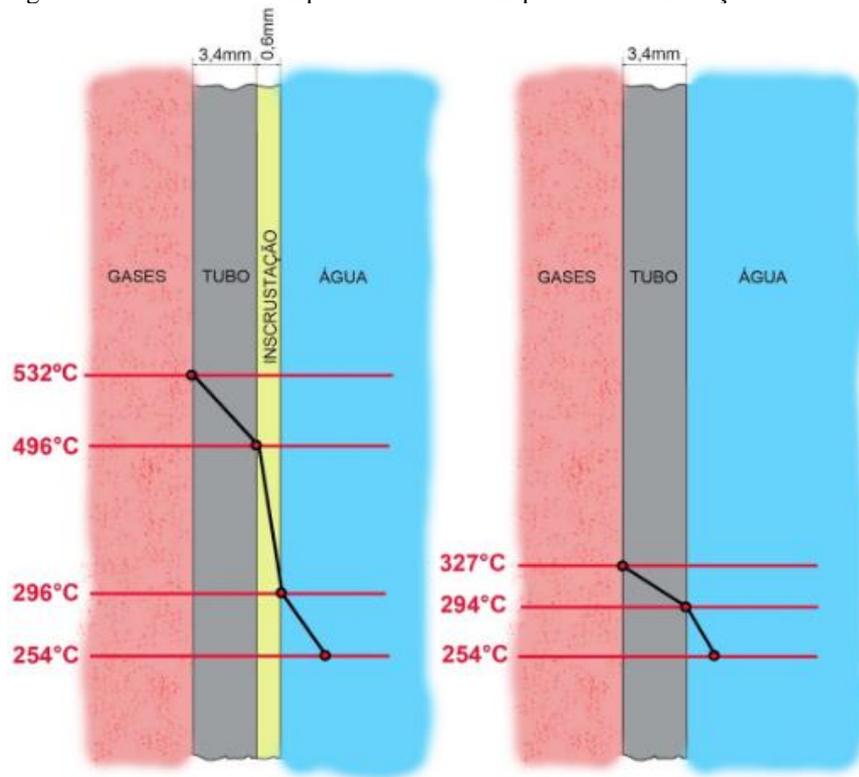


**CONTATO DA ÁGUA COM PAREDE DO TUBO EM ALTA TEMPERATURA
QUANDO A INCRUSTAÇÃO SE SOLTA DA SUPERFÍCIE DO TUBO.**

Fonte: Adaptado de Gyurkovits, (2004).

Tendo em mente que a incrustação tem um comportamento de isolamento térmico (a relação de condutividade térmica dos depósitos minerais é muito baixa: aproximadamente 45 vezes inferior ao do aço), ela não permite que a água troque calor com o aço, ou seja, há menor transferência de calor do aço para a água, e com isso, o aço absorve calor sensível, isto é, sua temperatura se eleva proporcionalmente à quantidade de calor recebida como é ilustrado na Figura 05.

Figura 05: Gradiente de temperatura com e sem parede de incrustação.



ELEVAÇÃO DAS TEMPERATURAS NO LADO DOS GASES EM RAZÃO DA PRESENÇA DAS INCRUSTAÇÕES.

Fonte: Adaptado de Gyurkovits, (2004).

De maneira genérica no que se diz respeito a substâncias incrustantes, essa situação agrava-se ainda mais com o aumento operacional do fornecimento de calor, ou seja, a queima de combustível no lado dos gases de combustão, para que se possa manter a água na temperatura ideal para formação de vapor. Com esse aumento de temperatura, além das perdas de energia e excesso de queima de combustível, do ponto de vista da segurança, podem ocorrer as seguintes situações de risco:

- Aumento do consumo de combustível para que seja produzido mesma quantidade de trabalho, ou seja, para que a temperatura transmitida através da parede incrustante seja a mesma.
- Por se tratar de um material frágil, quebradiço, uma parte de camada incrustante pode se fragmentar e desprender-se, fazendo com que a água entre em contato direto com as paredes do tubo que está em alta temperatura, o que provoca a expansão brusca da água e, conseqüentemente, a explosão
- O material, normalmente aço, dimensionado para o trabalhar em temperaturas próximas a 300 °C, é submetido a temperaturas de 500 °C, o que está bem fora dos limites de resistência

já pré-dimensionados para o elemento e, portanto, em condições de risco de explosão acentuado.

- d) Cria-se a tendência de áreas de corrosão, devido a porosidade dos elementos que compõe a incrustação e assim aumenta possibilidade da migração desses agentes corrosivos para o contato direto com o aço.

2.2 Classificação das caldeiras

Como um ponto de partida para um conceito de classificação, de acordo com a Norma Regulamentadora 13, as caldeiras podem ser classificadas, perante a sua faixa de pressão de trabalho, seguindo esses critérios:

- a) caldeiras da categoria A são aquelas cuja pressão de operação é igual ou superior a 1960 kPa (19,98 kgf/cm²);
- b) caldeiras da categoria C são aquelas cuja pressão de operação é igual ou inferior a 588 kPa (5,99 kgf/cm²) e o volume interno é igual ou inferior a 100 L (cem litros);
- c) caldeiras da categoria B são todas as caldeiras que não se enquadram nas categorias anteriores. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1999, P. 6).

Já para a Associação Nacional de Águas (ELIA NETO, 2009), as caldeiras também podem ter uma classificação diferente, como demonstra o Quadro 01.

Quadro 01 – Classificação geral das caldeiras quanto à pressão de trabalho

Caldeira	Pressões	
	Psig	Kgf/cm ²
Baixa pressão	100 – 400	7 – 28
Média pressão	400 – 800	28 – 56
Alta pressão	800 – 3.000	56 – 211
Pressão supercrítica	Acima de 3.000	Acima de 211

Fonte: Elia Neto, (2009).

3 QUALIDADE DA ÁGUA

Tem-se como norte diferentes objetivos quando se trata do tratamento de água para utilização como fluido de trabalho em caldeiras, porém, é de suma importância que esse fluido esteja nas condições ideais para efetuar tal trabalho. Com a industrialização frequente e exponencial vê-se a criação de grandes centros industriais que captam quantidade substancial de água para diversos fins na indústria. Devido ao grande consumo de água torna-se necessários novas abordagens para captação desse recurso, pois nem sempre é viável ou possível a contratação de demanda junta a concessionaria. Infelizmente com essas estratégias vê-se de maneira recorrente o emprego de água discordante com as especificações para o uso em caldeiras o que pode trazer diversos problemas com o decorrer do tempo, desde danificar parcialmente ou integralmente os equipamentos, corrosão e incrustações que aumentam o consumo de combustível há riscos maiores como de explosões. Com a falta da qualidade ocorre a incrustação (Figura 06). e corrosão dos equipamentos e tubulações (Figura 07), danificando-os, o que pode causar, como consequência, prejuízos e acidentes

Figura 06: formação de incrustação



Fonte: O Autor.

Sendo também atribuído a má qualidade da água da caldeira, ocasião onde há oxigênio dissolvido, também ocorre a corrosão dos equipamentos e tubulações (Figura 07), danificando-os, o que pode causar, como consequência, perda de seção transversal, contaminação do fluido de trabalho, prejuízos nos equipamentos e acidentes (TROVATI, 2004).

Figura 07: formação de corrosão



Fonte: O Autor.

Tem-se como alguns dos objetivos os tratamentos das águas de abastecimento: evitar os processos corrosivos e eliminar as ocorrências de arrastes de água, evitar a formação de incrustações nos tubos. Tendo-se em mente que a água é usada em inúmeras aplicações na indústria, é possível visualizar a importância do tratamento eficaz que garanta operações de eficiência e segurança na indústria, independentemente do segmento em que ela esteja inserida.

3.1 Problemas advindos de uso de água não tratada

Diversos problemas podem ocorrer nas caldeiras quando são abastecidas com águas que se encontram fora dos parâmetros básicos de tratamento para geração de vapor de alta pressão. Tratamentos esses como contra: corrosões, depósitos e arrastes.

3.1.1 Corrosão

As águas naturais contêm sempre gases dissolvidos. O₂, CO₂ se apresenta com contração até 50 ppm, porém, é facilmente eliminável por aquecimentos. A solubilidade do oxigênio chega a ser até 5,7 ml/l a 25°C. O oxigênio é extremamente agressivo, atacando o metal da

caldeira. O aumento da temperatura da água acentua a agressividade deste gás. Sua determinação, para caldeira de pressões mais elevadas, acima de 21 Kg/cm² é obrigatória.

A quantidade de oxigênio que a água contém é dependente da temperatura da água, uma vez que a água fria tem capacidade de dissolver mais oxigênio do que a água quente. Grande parte do oxigênio vem da água de compensação (PERA, 1990).

A corrosão como resultado da tendência de um material metálico refinado retornar ao seu estado original (ou seja, o mineral a partir do qual foi produzido o material metálico refinado) se dá pela deterioração eletroquímica do metal. O processo corrosivo envolve diversas de reações eletroquímicas (BASHAM, 2005). Materiais metálicos que têm contato com água em qualquer tipo de sistema podem entrar em um estado corrosivo se não houver uma estratégia de proteção para o mesmo. A corrosão é um dos parâmetros mais críticos em referência a sistemas geradores de vapor, pois existe a possibilidade de ocasionar acidentes como: perda de material, parada do equipamento para a manutenção e até mesmo acidentes com colaboradores e explosões. Esse processo eletroquímico é capaz de se desenvolver em meio ácido, neutro ou alcalino, na presença ou não de aeração, o qual pode ser acelerado pela presença de oxigênio dissolvido; teores elevados de cloro, presença de íons cobre e níquel, responsáveis pela formação de pilhas galvânicas, sólidos em suspensão que se depositam facilmente, de forma não aderente, em regiões estagnantes e de alta transferência de calor (GENTIL, 1996).

3.1.2 Depósitos

Para Pera (1990), quando a sílica é negligenciada em um sistema de uma caldeira sem o devido controle, forma-se depósitos duros e viscosos que se tornam os responsáveis pelas incrustações com maior dificuldade de serem removidas. Essas incrustações causam uma redução elevada na eficiência de transferência de calor dos equipamentos, ocasionando falha nas tubulações causadas pelo superaquecimento, aumento no consumo de combustíveis e, conseqüentemente, redução da eficiência do equipamento.

Depósitos quanto tratado em caldeiras refere-se a uma grande gama de categorias de resíduos. Depósitos são compostos de escala mineral, matéria biológica e materiais suspensos ou insolúveis (por exemplo, lama, sujeira ou subprodutos de corrosão). Depósitos podem ser criados pela fixação de materiais de formação de depósitos na tubulação ou superfícies de equipamentos, ou por sedimentação e acumulação.

Quanto maior a temperatura de operação de uma caldeira, menor tolerância aos depósitos ela oferece; conseqüentemente, a presença de depósitos além de dificultar a troca de calor, pode romper os tubos de metal da caldeira, acarretar perda de resistência mecânica e

deformações, em razão do superaquecimento deles, além de restringir a área do fluxo de escoamento na linha e possíveis obstruções nas válvulas, resultando em perdas e reposições caras. Entre as incrustações nos tubos de caldeiras provenientes de sais minerais dissolvidos encontrados na água de alimentação, pode-se citar: carbonato de cálcio, sulfato de cálcio, silicatos de cálcio e magnésio, silicatos complexos contendo ferro, alumina, cálcio e sódio, borras de fosfatos de cálcio ou magnésio e óxidos de ferro não protetores.

3.1.3 Arraste

O arraste representa uma condição de transporte da água e suas impurezas minerais pelo vapor destinado à seção pós-caldeira. Tal fenômeno ocorre em caldeiras que operam nas mais diversas pressões, influenciando diretamente na pureza do vapor. Suas causas podem ser mecânicas ou químicas. As mecânicas são em decorrência das flutuações repentinas e excessivas de carga e operação em níveis superiores ao projetado, entre outras. Já as químicas são em razão da presença excessiva de sólidos dissolvidos ou em suspensão, sílica ou alcalinidade. As principais consequências do arraste são danos nas turbinas e outros equipamentos, formação de depósitos nos separadores, válvulas de redução, aparelho separador de vapor, na seção pós-caldeira e perda de produção (DANTAS, 1988).

4 EFICIÊNCIA DA CALDEIRA

Devido à elevada temperatura da água da caldeira, íons de cálcio, íons magnésio, silicatos e carbonatos que estão solubilizados na água, adquirem uma condição de supersaturação em face da redução de seus respectivos limites de solubilidade. Isso gera compostos insolúveis que se depositam sobre a superfície de troca térmica da caldeira, originando incrustações bastante rígidas e de difícil remoção que reduzem a eficiência e aumenta o consumo de combustível. A condutibilidade térmica dos compostos incrustantes é de 20 a 100 vezes menor que a do aço-carbono e a do cobre que compõem as caldeiras e seus equipamentos periféricos (CARVALHO, 2010). Uma vez que as incrustações se comportam como isolante térmico, devido a baixa condutibilidade térmica dos compostos incrustantes, há menor transferência de calor gerado na câmara de combustão da caldeira para a água, o que diminui consideravelmente a eficiência da caldeira. A presença de incrustações acarreta prejuízos quanto ao custo de operação da caldeira. Incrustação de carbonato de cálcio, de 1 mm de espessura aderida à superfície de troca térmica da caldeira, acarreta um incremento no consumo de combustível em torno de 4%. De forma similar, a presença de incrustações silicosas promove um aumento no consumo de combustível na ordem de 8% (CARVALHO, 2010).

Admitindo uma condutibilidade térmica de um composto incrustante de $0,5 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$, tem-se que a cada 0,3 mm de incrustação gera um aumento de 1% no consumo de combustível (CARVALHO, 2010). A água é o fluido utilizado nas caldeiras. Na natureza encontram-se diversos tipos de águas, sendo que todas são impuras, pois apresentam quantidades diversificadas de impurezas iônicas ou moleculares, cuja composição e proporção estão relacionadas com a constituição geológica dos solos. Na água é encontrada uma série de constituintes em suspensão ou dissolvidos tais como sólidos ionizados, gases dissolvidos, matérias em suspensão, microrganismos e material coloidal. A exigência para que sejam extraídos da água esses constituintes, deve-se aos efeitos danosos por eles provocados, tais como contaminação do vapor produzido, corrosão e incrustações. Portanto, é necessário o controle adequado da qualidade das águas de alimentação e da caldeira para se ter economia de combustível.

A análise química de uma água permite avaliar sua composição bruta, que aliada às características técnicas da caldeira oferece subsídios quanto a escolha dos tratamentos físicos e químicos a serem adotados. O método externo consiste no tratamento que se deve dar à água antes do ponto de utilização. É usado para águas que estejam muito fora da especificação e para caldeiras que trabalham a altas pressões. São métodos externos: clarificação, filtração,

abrandamento, decantação, desmineralização, osmose reversa, destilação e desareação (PERA, 1990). O método interno consiste no tratamento químico que se dá a água através de compostos químicos. Para este propósito utiliza-se uma grande variedade de substâncias de composições diferenciadas, visando retardar o efeito das incrustações. Dentre elas estão a hidrazina, o sulfito de sódio, os polímeros, o tripolifosfato de sódio, os cromatos e os quelantes de superfície (AZZOLINI, 2007). Quando se aplicam, de modo adequado, os métodos de tratamento externo e interno da água, e se faz o monitoramento, evita-se a perda de eficiência da caldeira bem como o gasto com combustível.

5 TRATAMENTO DA ÁGUA

Não é incomum ser encontrado geradores de vapor alimentados com água bruta advindas diretamente de fontes como minas, rios, represas e poços. A qualidade das águas de alimentação de caldeiras, pode e deve ser melhorado com a aplicação de uma estratégia, uma metodologia, capaz de, com eficiência, enquadrá-la nos padrões adequados para sua utilização com a finalidade de inibir o surgimento de inconvenientes citados anteriormente.

São procedimentos recomendados para execução na água de reposição das caldeiras, visando retirar as impurezas e evitar as consequências de sua presença. O tratamento preliminar atua primeiramente sobre as impurezas mais grosseiras, tais como turbidez, sólidos em suspensão e material orgânico. Depois, dependendo da necessidade, são feitos tratamentos mais sofisticados para eliminação do material dissolvido. Apesar da toda tecnologia disponível, muitos usuários de caldeiras não fazem pré-tratamento de água, o que é extremamente desaconselhável e dificulta enormemente o trabalho do tratamento químico interno (quando é feito). Um tratamento preliminar que também deve ser executado é a remoção de oxigênio e outros gases dissolvidos na água, através de uma desaeração. Este fato será abordado mais adiante, no capítulo referente à corrosão (TROVATI, 2004).

5.1 Métodos externos para o tratamento de fluido de abastecimento para caldeiras.

São inúmeros os objetivos que se deseja alcançar com os tratamentos de água, seja eles para consumo humano ou para equipamentos. Listados abaixo estão alguns dos mais comuns discriminados de maneira simplória seus procedimentos e peculiaridades.

5.1.1 Clarificação.

Operação realizada normalmente em uma estação de tratamento de água (ETA), responsável pela eliminação de material suspenso na água. A clarificação é feita por um processo de coagulação / floculação das impurezas, mediante a adição de um ou mais produtos específicos (tais como o sulfato de alumínio, cloreto férrico, polímeros de acrilamida, policloretos de alumínio (PACs), taninos modificados, etc.). O produto aglutina as impurezas da água através de interações eletrostáticas e promove a formação de flocos, maiores e mais densos que se sedimentam e são eliminados.

A água clarificada é então submetida a uma filtração, normalmente em leito de areia, através dos filtros que operam por gravidade ou pressão. Ao término deste processo a água é submetida aos tratamentos complementares, quando for o caso. Eventualmente, pode-se fazer uma desinfecção da água antes, durante e/ou após o processo de clarificação/ filtração, tarefa comumente efetuada por uma cloração (TROVATI, 2004).

5.1.2 Sedimentação

Segundo Trovati, 2004 é um dos primeiros conceitos em tratamento bem-sucedidos e o mais utilizado em número de caldeiras hoje em dia, principalmente nos modelos pequenos e de baixa pressão. Consiste em adicionar um composto a base de fosfato à água (fosfato mono, di ou trissódico, polifosfatos, etc.) o qual reage com a dureza e a sílica dissolvidas; estas reações ocorrem estequiometricamente e, na presença de adequadas concentrações de alcalinidade hidróxida (OH^-), formam lamas precipitadas de hidroxiapatita de cálcio e um hidroxissilicato de magnésio (chamado de “serpentina”). As lamas sedimentam-se no fundo da caldeira e são removidas pelas descargas de fundo.

5.1.3 Filtração

Consiste em fazer a água previamente filtrada passar por dispositivo normalmente cilíndrico denominado “permeador”, onde os sais presentes na água são retidos por membranas seletivas especialmente fabricadas. A água pura é eliminada radialmente pelo permeador, enquanto que a parcela de água não permeada é descartada a uma concentração mais elevada de sais. Este fato constitui uma das desvantagens do sistema, além do alto custo e da necessidade de se operar com vários permeadores em paralelo para obtenção de uma vazão razoável (TROVATI, 2004).

5.1.4 Abrandamento

Consiste na remoção de cálcio e magnésio da água. Faz uso de resinas que trocam íons sódio (Na^+) ou hidrogênio (H^+). Após saturação do leito, a regeneração é feita com cloreto de sódio ou ácido clorídrico (às vezes sulfúrico). Basicamente, existem três processos de abrandamento de uma água: dois por precipitação, com utilização de cal sodada a frio ou a quente e cal sodada a quente com fosfatos, hoje em desuso, e um terceiro, pela troca de cátions

e ânions indesejáveis por cátions e ânions desejáveis, com o uso de resinas, mais adotado atualmente nas usinas (ELIA NETO, 2009 e TROVATI, 2004).

5.1.5 Desmineralização

O processo de desmineralização ou desionização é recomendável para águas utilizadas nas caldeiras, o que visa praticamente remover a totalidade de íons presentes na água. Existem vários arranjos com esse objetivo, o que varia de acordo com a qualidade da água a ser tratada. Basicamente, a água passa em uma coluna de resinas catiônicas na forma H^+ e, em seguida, em uma coluna com resina aniônica na forma OH^- (ELIA NETO, 2009).

5.1.6 “Desaeração” Térmica

A remoção de oxigênio dissolvido na água, assim como de outros gases que podem causar corrosão nas caldeiras, pode ser feita em desaeradores. São equipamentos que se baseiam no fato da solubilidade de um gás em um líquido ser inversamente proporcional à temperatura, sendo praticamente zero no ponto de ebulição. Os condensadores retornados das caldeiras também sofrem esse tipo de tratamento, com a água de reposição. Assim, injeta-se vapor em contracorrente com a água de alimentação, o que visa arrastar os gases dissolvidos (ELIA NETO, 2009).

5.2 Relação de parâmetros, possíveis complicações e tratamento coerente singular

São inúmeros os problemas que bom surgir do uso de água de abastecimento sem o tratamento devido e sem o monitoramento efetivo para proteção dos equipamentos e colaboradores. Esses problemas por mais que muitas vezes negligenciados por pequenas indústrias, podem impactar de maneira muito substancial no trabalho das caldeiras desde incrustações e depósitos a explosões.

Porém o que normalmente não é comumente abordado como tema norte é o os debates segundo o consumo de combustível nesses equipamentos. Caldeiras de modo geral utilizam de queima de combustíveis para obtenção de calor para gerar o vapor de trabalho. Como foi apresentado anteriormente é necessária uma maior queima desses combustíveis para se atingir iguais temperaturas e alcançar o trabalho desejado. Essa queima demasiada de combustível o

que afeta diretamente os custos com tal material é diretamente ligado a esses fatores que podem e influenciam diretamente nesse quesito.

A água como solvente universal possui naturalmente diversos subprodutos dissolvidos em sua composição, não podendo ser encontrada naturalmente pura. Essa simples questão se bem entendida demonstra a necessidade de se tomar certo cuidado com seu uso nesses equipamentos em altas temperaturas e pressão.

Como é possível visualizar a representação do Quadro 02 onde é demonstrado alguns dos problemas mais comuns advindos de parâmetros irregulares no que diz respeito às águas de abastecimento. Há ainda outros fatores que são analisados como: turbidez, dióxido de carbono, sulfato, cloro e sólidos suspensos. Porém esses ensaios não são tão recorrentes e têm baixa concentração em água de caldeira que, normalmente, são tratadas mesmo que não especificamente, onde esse tratamento ainda que não específico já pode ser efetivo contra esses componentes. Já esses problemas que são apresentados no Quadro 02 são apresentados vinculados às suas possíveis soluções, cada um vinculado ao seu parâmetro normativo.

Quadro 02: Parâmetros mais analisados com suas respectivas interferências e meios de tratamento

Constituinte	Dificuldades Causadas	Meios de Tratamento
Dureza	Presença de sais de cálcio e magnésio. Maior fonte de incrustações em equipamentos de troca	Abrandamento; desmineralização; tratamento interno para caldeiras; agentes ativados de superfície.
Alcalinidade	Presença de bicarbonatos (HCO_3^-), carbonatos (CO_3^{2-}) e hidróxidos (OH^-). Espuma e arraste com vapor; fragilização do aço da caldeira; bicarbonato e carbonato produz CO_2 no vapor, uma fonte de corrosão em linhas de condensado	Abrandamento com cal e soda cáustica; tratamento com ácido; abrandamento com hidrogênio zeólito; desmineralização por troca iônica.
pH	O pH varia de acordo com sólidos ácidos e alcalinos na água; a maioria das águas naturais possui um pH de 6.0-8.0.	O pH pode ser aumentado por bases e decrescido por ácidos.

Sílica	Incrustações em caldeiras e sistemas de resfriamento de água.	Processo de remoção por sais de magnésio a quente e morno; absorção por troca iônica com resinas de bases fortes, em conjunto com desmineralização, osmose reversa, evaporação.
Ferro e manganês	Mancha a água de precipitação; fonte de depósitos nas linhas de água, caldeiras e etc.; interfere com tingimento, bronzeamento, fabricação de papel.	Aeração; coagulação e filtração; amolecimento a cal; troca catiônica; filtração por contato; agentes superficiais ativos para retenção de ferro ou manganês.
Oxigênio	Corrosão nas linhas de água, trocadores de calor, caldeiras, linhas de retorno, etc.	Desaeração; sódio sulfito; inibidores de corrosão.
Sólidos dissolvidos	Refere-se ao total de matéria dissolvida, determinado por evaporação; grande concentração é condenável por interferir no processo e ser causa de espuma em caldeiras.	Abrandamento com cal e troca catiônica; desmineralização, osmose reversa, eletro diálise, evaporação.

Fonte: Adaptado de Zarpelon, (2015).

6 CICLO DE VAPOR

O ciclo termodinâmico do qual a água sofre as transformações de fase, requer a importância de manter a qualidade adequada da água evitando problemas nos diversos componentes do sistema. Com a planta de propulsão a vapor pode ser entendida como um ciclo fechado em que a água de alimentação da caldeira é aquecida para produção do vapor. Com isso o vapor é utilizado para trabalho nas turbinas principais e é condensado, voltando para o sistema. Havendo necessidade de complementar as perdas do sistema, esta água é bombeada para o sistema de condensado onde irá se misturar com o condensado. Então o condensado é bombeado para o tanque aquecedor desaerador que irá remover o oxigênio dissolvido e outros gases, nesta circunstância a água é chamada de água de alimentação, assim pode ser bombeada para a caldeira (PERA, 1990).

6.1 Controle da pureza do vapor

Assim como a água de alimentação, o vapor superaquecido, saturado e o condensado tem-se a necessidade de ser monitorado. Atualmente existem maneiras de serem feitos, esses monitoramentos, com o auxílio da tecnologia a instalação de instrumentos desde os mais simples aos última geração. Alguns parâmetros podem ser adotados para avaliar a qualidade do vapor no sistema pós caldeira: pH, alcalinidade, dureza total, sílica, ferro total, índice TDS (sólidos totais dissolvidos), cloretos e condutividade.

7 MANUTENÇÃO NA CALDEIRA

É indicada uma análise química pelo menos semanal para caldeiras de baixa pressão até (10 kgf/cm²) e também pH, alcalinidade, dureza, fosfatos, sulfitos, cloretos, sólidos totais. Em relação aos itens de pH, dureza e cloretos, é comum que sejam realizadas análises mais regulares, devido a facilidade de aplicação. Para as caldeiras de média pressão (11 a 40 kgf/cm²) e alta pressão (>40 kgf/cm²), tem que ser analisada pelo menos uma vez ao dia. Outro item na manutenção é a limpeza das caldeiras, mesmo com a água bem tratada, nas superfícies interna das caldeiras se acumulam certa quantidade de resíduos de várias naturezas. Com isso, deve-se obter uma limpeza regular a cada 5 ou 6 anos para colher bons resultados. Entretanto o procedimento pode evitar o surgimento de corrosão, além de melhorar o rendimento da caldeira, tendo potencial para chegar até 20% na redução de consumo. Existem vários agentes de limpeza para evitar a corrosão acentuada na parte interna da caldeira, evitar a entrada de ar na caldeira é outro método preventivo, sendo controlada por análises de Sulfitos. Evitar a construção de equipamentos que usa metais ou ligas com potenciais de oxidação muito diferentes e também o contato elétrico direto entre os metais, colocando materiais isolantes entre os mesmos (plástico, borracha), é mais uma forma de evitar a corrosão galvânica (BIZZO, 2003).

Pode ser realizado outros procedimentos e formas de manutenção na parte operacional contudo, especialistas da área, apresentam como uma solução de remediação, que poderia ser evitado caso a água usada fosse adequada, e o teor baixo de sólidos e sílica. Quando obtiver um aumento da pressão de trabalho pelo operador, chegando ao seu limite permitido, precisa desligar a caldeira, esperar seu resfriamento e abri-la para a extração mecânica das incrustações. Este trabalho desnecessário se dá pelo fato de não utilizar a água adequada. Com a utilização de produtos químicos, as reações acabam dificultando ou não permitem o depósito, mas existe um limite, pois isso aumenta a concentração do mesmo, assim o operador fica condicionado a fazer a purga, isto é, descartar vapor produzido para receber água nova, isso acaba baixando a concentração. Ocorrendo descarte de vapor conseqüentemente ocorre descarte de energia. Contudo há quem controle pela medição da dureza da água, conforme mencionado. Admite-se isso para caldeiras pequenas em vez de se usar um pequeno abrandador, mas isso é um problema de critério econômico. Em geral, o controle das condições incrustantes das águas é feito pelo controle de índices analíticos que indicam se uma água tende a ser corrosiva ou incrustante (BAZZO, 1995).

8 MATERIAIS E MÉTODOS

Utilizando os equipamentos do laboratório do Centro Universitário do Sul de Minas – Unis – MG. As amostras coletadas foram submetidas a diversos testes que puderam evidenciar a causas da deterioração ocorrida nos tubos do equipamento.

Foi selecionado, dos pontos de abastecimento e descarte 3 pontos distintos para coleta de fluido para análise, reservatórios de alimentação, na água de reposição e no local de saída das águas (válvulas de purga de vapor). Destas seções foram trabalhadas diversas análises sobre as propriedades físico-químicos (pH, condutividade, dureza, TDS, ferro, cloretos e alcalinidade) dos fluidos coletados.

Figura 08: Amostras de água.



Fonte: O Autor.

8.1 Análises de laboratoriais

O métodos para análise da água coletada segue parâmetros sugeridos pelos conceitos de Trovati (2004), que o fluido de trabalho ideal para utilizar em caldeiras deve ter as seguintes características: Menor quantidade possível de sais, óxidos dissolvidos, hidróxidos, ausência de oxigênio e outros gases dissolvidos; isenta de materiais em suspensão; Ausência de materiais orgânicos e óleos; Temperatura elevada; pH adequado (faixa alcalina). Para que assim se possa garantir que as propriedades desse fluido sejam adequadas. Então se faz necessário a presença de diversas análises das águas que, de certa forma, são direta ou indiretamente levadas para o trabalho na caldeira, destinando as ao tratamento para que seja então selecionadas as melhores

estratégias de tratamento para a água de alimentação do gerador. Os indicadores que irão determinar as condições de utilização de uma determinada água na caldeira são listados abaixo e foram baseadas em (PARRON, 2011) no manual da EMBRAPA para procedimentos de amostragem e análise físico-química de água. São elas: pH; Alcalinidade; Condutividade; Sólidos Totais Dissolvidos; Dureza Total, Cloretos, Sílica e Ferro.

8.1.1 Análise de pH

Será utilizado para determinação do pH o método potenciométrico por ser o método mais preciso em sua determinação. Será utilizado um equipamento chamado de peagâmetro, que consiste basicamente em um eletrodo de referência, um eletrodo indicador e um dispositivo de medida potencial.

8.1.2 Alcalinidade

Será avaliada a alcalinidade total através do método de volumetria de neutralização que tem como base a reação entre um ácido e uma base, que formam um sal correspondente e água. Titula-se a amostra com ácido clorídrico, obtendo-se a concentração total de hidróxidos, carbonatos e bicarbonatos dissolvidos.

8.1.3 Condutividade

Para a medida da condutividade elétrica será utilizado um equipamento denominado de condutivímetro, que se baseia na intensidade da corrente elétrica que circula entre os eletrodos. Partindo do princípio que a água pura é uma péssima condutora de eletricidade, quanto menor a condutividade elétrica, menor será a quantidade de íons dissolvidos e impurezas na água e dessa forma pode ser analisado a quantidade de sólidos totais dissolvidos.

8.1.4 Sólidos Totais Dissolvidos

Neste procedimento foi avaliado de duas formas, condutividade elétrica e evaporação, sendo considerado método por evaporação que traz maior confiabilidade.

8.1.5 Dureza Total

A dureza total da amostra será determinada pela titulação dos íons cálcio e magnésio, com uma solução de EDTA em pH 10, usando o negro de eriocromo T como seu indicador. O resultado é expresso como CaCO_3 mg/L.

8.1.6 Cloretos

Será avaliado segundo o método de Mohr para determinação de cloretos, o haleto onde é feito a titulação através de uma solução padrão de nitrato de prata, usando o cromato de potássio como indicador. Quando estiver completa a precipitação do cloreto, o primeiro excesso de íons de Ag^+ irá reagir e formar a precipitação do cromato de prata com a coloração amarelo avermelhado.

8.1.7 Sílica

Será utilizado na amostra através do método espectrofotométrico as concentrações de sílica onde é usado como substrato para tal fim a solução de: 5ml de ácido clorídrico, 1ml de ácido oxálico e 5ml de molibdato de amônio.

8.1.8 Ferro

Será utilizado para avaliar a concentração de ferro através do método de espectro fotoelétrico dissolvido na amostra a solução de Fenantrolina.

9 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi discutido a média dos resultados obtidos através dos testes laboratoriais obtidos pelas análises das amostras já referidas e apresentados nos gráficos 01 até 08 das análises físico-químicas das águas de reposição, alimentação e da caldeira, captadas no mês de julho e agosto de 2019. Para a avaliação dos parâmetros das águas de alimentação das caldeiras foram levados em consideração os valores padrões segundo análise de Trovati (2004), conforme Quadro 03. As águas de alimentação desta fazenda são provenientes de uma mina, e sofrem tratamento físico-químico prévio, não específico (cloro), antes de alimentar a caldeira. Como se trata de uma caldeira de 10,5 kgf/cm² foi adaptada o Quadro 03 conforme os parâmetros deste modelo. É importante ressaltar que diversas características encontradas nas propriedades das águas na natureza não são isentas de agentes contaminantes, ou seja, a água não é encontrada em seu estado puro na natureza, pois todas apresentam certa quantidade de impurezas iônicas, moleculares ou particuladas. Em seu estado químico puro a água é um líquido incolor, inodoro e insípido, representada pela fórmula H₂O, sendo popularmente reconhecida como solvente universal.

Quadro 03: Parâmetros mínimos para tratamento para caldeira classe B.

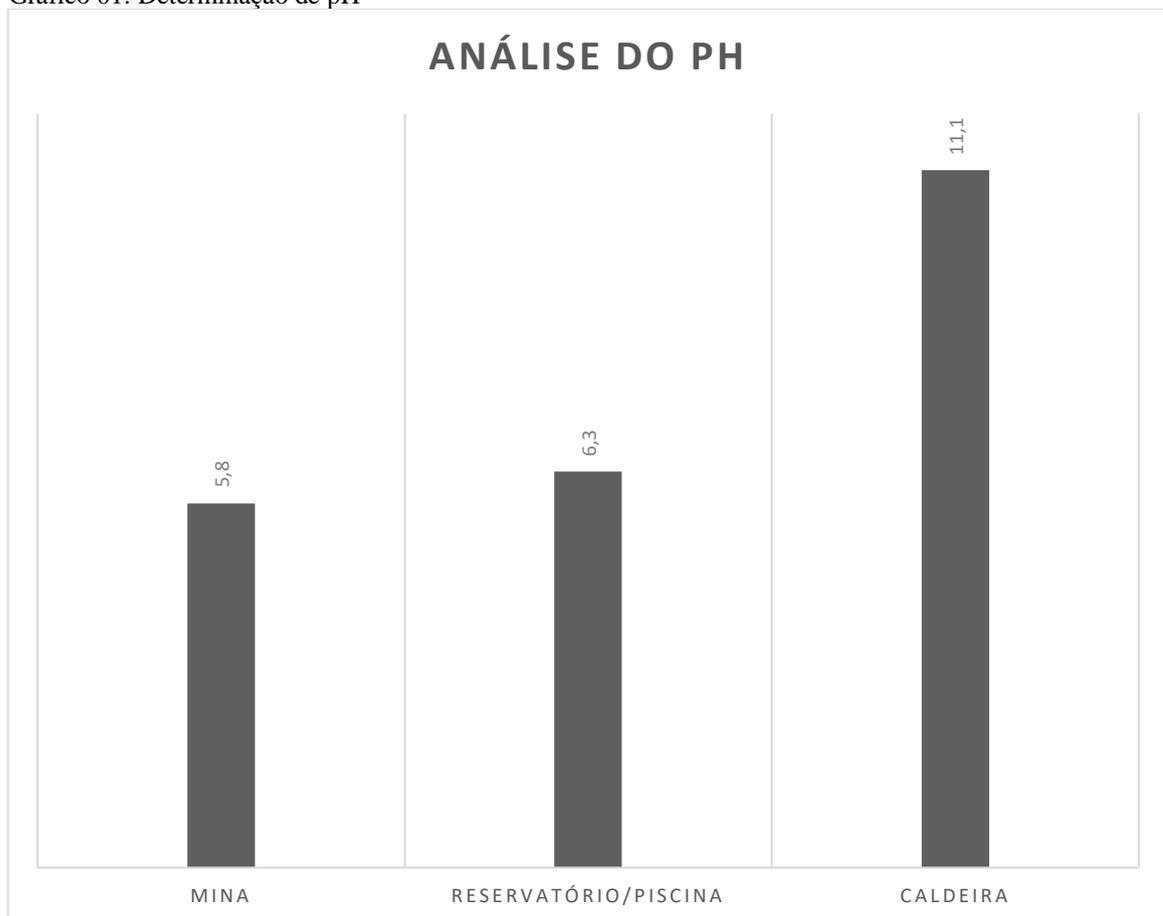
Caldeira	
pH	11,0 a 12,0
Alcalinidade	150 a 600 mg/L CaCO ₃
Dureza	< 50,0 mg/L CaCO ₃
Sílica	< 250,0 mg/L SiO ₂
Ferro total	< 5,0 mg/L Fe
Índice TDS	<1500mg/L (*)
Cloretos	<150mg/L (*)
Condutividade	<3000 μS/cm, 25°C (*)

Fonte: Adaptado de Trovati, (2004).

Importante salientar que para as águas de reposição e alimentação, há inúmeros padrões recomendados, sendo eles oferecidos por cada empresa fabricante das mesmas. Como para este modelo em específico a empresa fabricante não se encontra mais em funcionamento e não há registros na empresa acerca desse assunto foi feito uma busca por padrões em comum com caldeiras que tivessem parâmetros similares. Quando se trata do tratamento da água para trabalho em caldeira se é negligenciado. Por isso foram feitos os testes para visualizar esse fator como se encontra os níveis da água de alimentação da caldeira e servir de ponto de rastreabilidade se caso a água da caldeira apresentar resultados extremamente fora dos padrões recomendados.

Como é demonstrado no Gráfico 01 os níveis de pH estão aceitáveis segundo Trovati (2004). É importante salientar que tratasse de uma média de 3 análises.

Gráfico 01: Determinação de pH



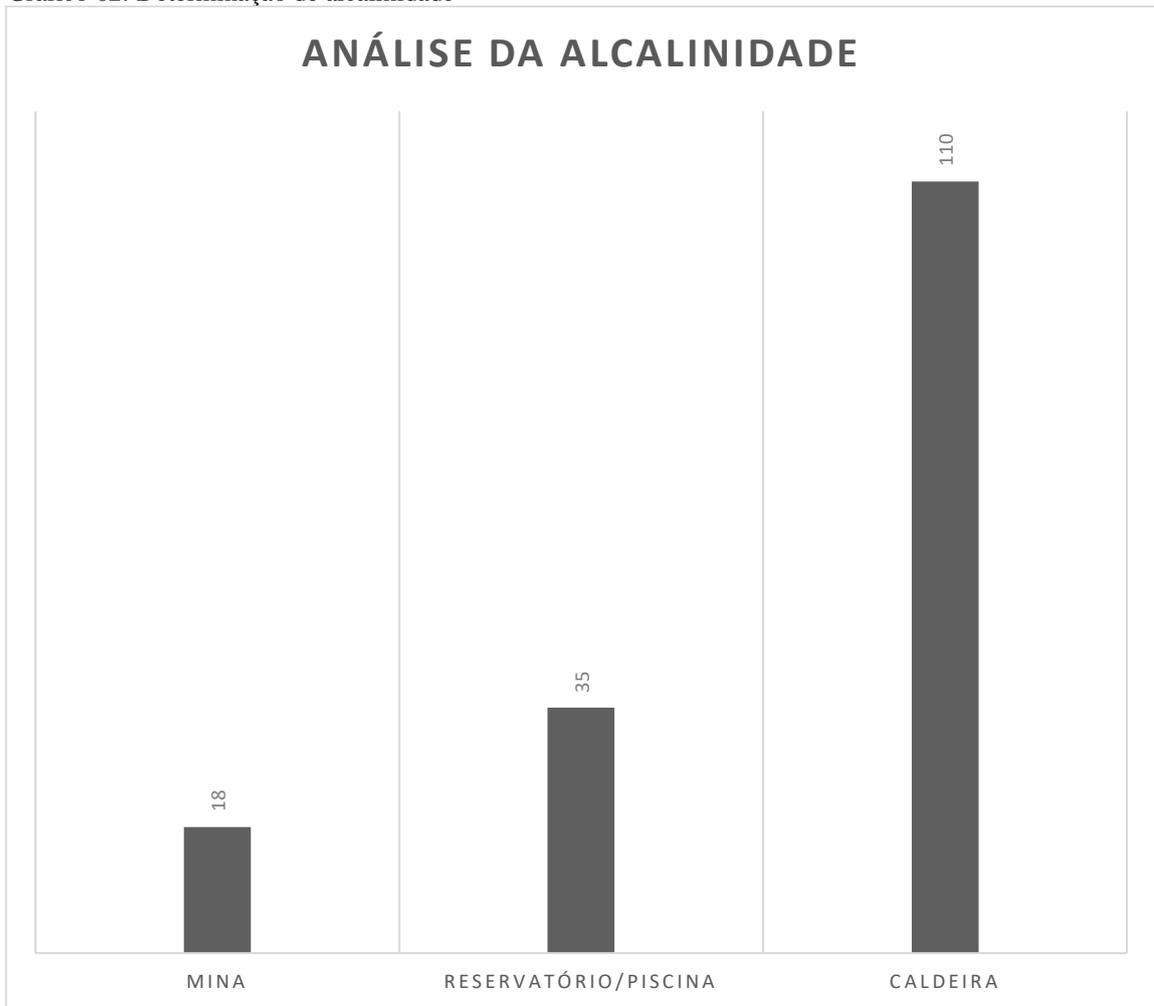
Fonte: O Autor.

De acordo com Naime (2009), quando realizou sua pesquisa sobre Avaliação da Qualidade da Água Utilizada nas Agroindústrias Familiares do Vale dos Sinos, vários fatores influenciaram o pH, desde a ausência de substâncias salinas disponíveis nas rochas para

solubilização e neutralização da água, até contaminações com excreções animais, que contribuem para a redução dos níveis de pH.

Então como se trata de uma água sem tratamento prévio é muito provável a influência dos resultados devido a substratos dissolvidos na água.

Gráfico 02: Determinação de alcalinidade

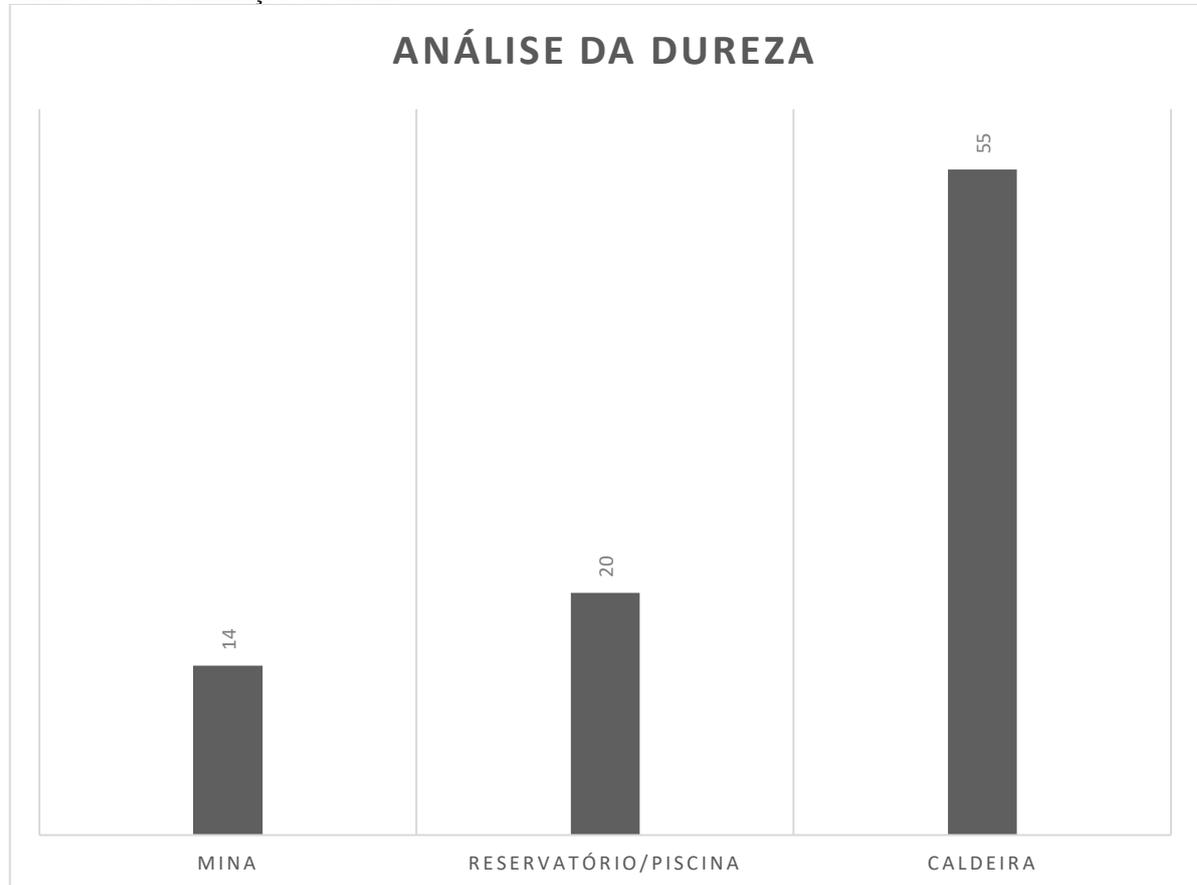


Fonte: O Autor.

Verifica-se que os resultados obtidos para as águas das caldeiras e expressos no Gráfico 02, estão dentro do parâmetro adequado. Importante salientar que as águas de reposição e alimentação apresentaram resultados para alcalinidade muito próximos de zero, indicando que a água utilizada para trabalho na caldeira não havia quantidade significativa de interferentes. Importante salientar que a alcalinidade somente aumenta na água da caldeira, em função do ciclo de concentração, onde permanecem concentrados todos as substâncias da própria água, incluído os Sólidos Totais Dissolvidos, por isso houve alteração no nível em relação a caldeira.

Por essa ocasião, a água da caldeira deve receber tratamento químico para permanecer com o índice de pH elevado.

Gráfico 03: Determinação de dureza



Fonte: O Autor.

No gráfico 03 estão indicados os resultados de dureza onde os mesmos apresentaram-se fora dos parâmetros recomendados, caracterizando com dureza moderada, sendo que para as análises das águas de caldeiras a dureza deve ser zero. Para que se alcance os resultados “zero”, faz-se o uso de produtos químicos adequados para a remoção dos sais de cálcio e magnésio presentes.

Como Santos e Feliciano (2008), percebeu que das dez amostras das águas de caldeira analisadas em seu estudo, a grande maioria ficou abaixo de 50 mg/L CaCO₃, o que caracterizou água mole, apenas uma das amostras apresentou dureza de 55,00 mg/L CaCO₃ e outra amostra 52,00 mg/L CaCO₃, caracterizando dureza moderada. Visto que, a água é classificada quanto à dureza em: menor que 50 mg/L CaCO₃ água mole, entre 50 e 150 mg/L CaCO₃ água com dureza moderada, entre 150 e 300 mg/L CaCO₃ água dura e maior que 300 mg/L CaCO₃ água muito dura.

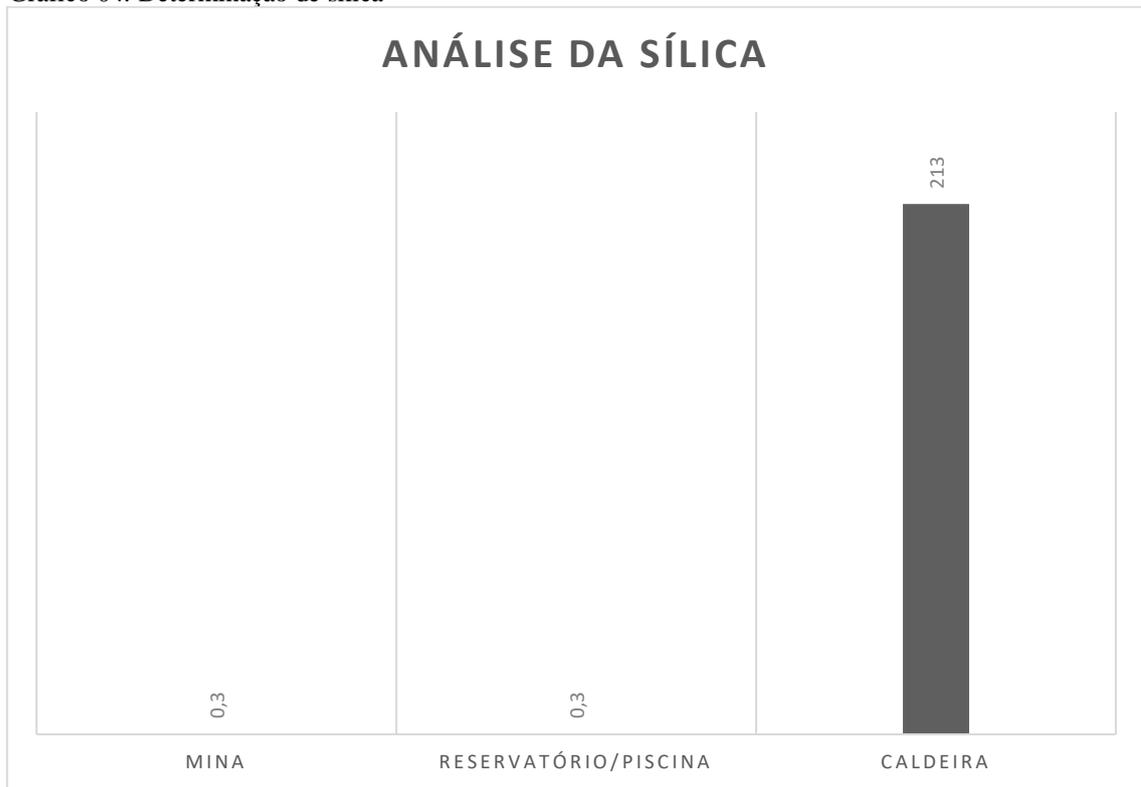
Verifica-se neste estudo, que nos resultados de dureza das águas de reposição, a mesma permanece mais elevada do que as águas de alimentação. Explica-se esse fato devido aos retornos de condensado que algumas empresas fazem uso. Na empresa devido a corrosão do reservatório do condensado há perda constante de volume de água o que faz com que haja reabastecimento constante e juntamente com a baixa quantidade de descargas de fundo há um acúmulo de resíduos. Esse perfil de trabalho foi tratado também por Pereira (2009), quando desenvolveu estudo sobre nanofiltração nas caldeiras e que foram utilizados dois produtos para tratamento, um anti-incrustante e um anti-corrosivo. Ambos são adicionados com uma bomba dosadora, à água de alimentação da caldeira. Para garantir que a dosagem efetuada é eficiente, fazem-se análises periódicas à água para ver se esta possui o valor residual de químico recomendado pelo fornecedor. Assim se faz o controle destes dois produtos.

Esse estudo vem de encontro ao trabalho realizado por Castro (2006), que salientou que as águas duras quando fervidas, precipitam os carbonatos, formando depósitos no fundo dos equipamentos. Esse depósito pode se comportar como uma capa isolante que dificulta a troca de calor entre os gases de combustão e o vapor de água no interior dos tubos.

Segundo Trovati (2004), as incrustações são formadas pelo aumento da concentração dos sais e outras substâncias presentes na água, se estes materiais não saem junto com o vapor, ao atingirem o ponto de saturação, estas substâncias iram se precipitar formando um agregado duro e que adere nas superfícies de troca térmica. Em razão da formação dessas incrustações, ocorre a diminuição da transferência de calor, aumentando o consumo de combustível e queda na produção de vapor.

Já Pereira (2009), concluiu em seu trabalho sobre *Optimização do Tratamento Químico de Água e sua Reutilização usando Nanofiltração*, que a dureza total se refere à concentração de cálcio e magnésio na água. Com a análise efetuada pôde-se ver que estes dois íons se encontraram em quantidade substancial para uma caldeira que tem seu funcionamento programado para apenas 5 meses. A contribuição total que cada íon na solução é calculado multiplicando o fator de condutividade específica do respectivo íon pela sua concentração em solução. Como a concentração destes íons é substancial, a sua contribuição para a condutividade total da água pode ser considerada. Por esse motivo antes de qualquer tratamento posterior a concentração de Mg^{2+} e Ca^{2+} , íons responsáveis pela maior parte de incrustações, deve ser estudada.

Gráfico 04: Determinação de sílica



Fonte: O Autor.

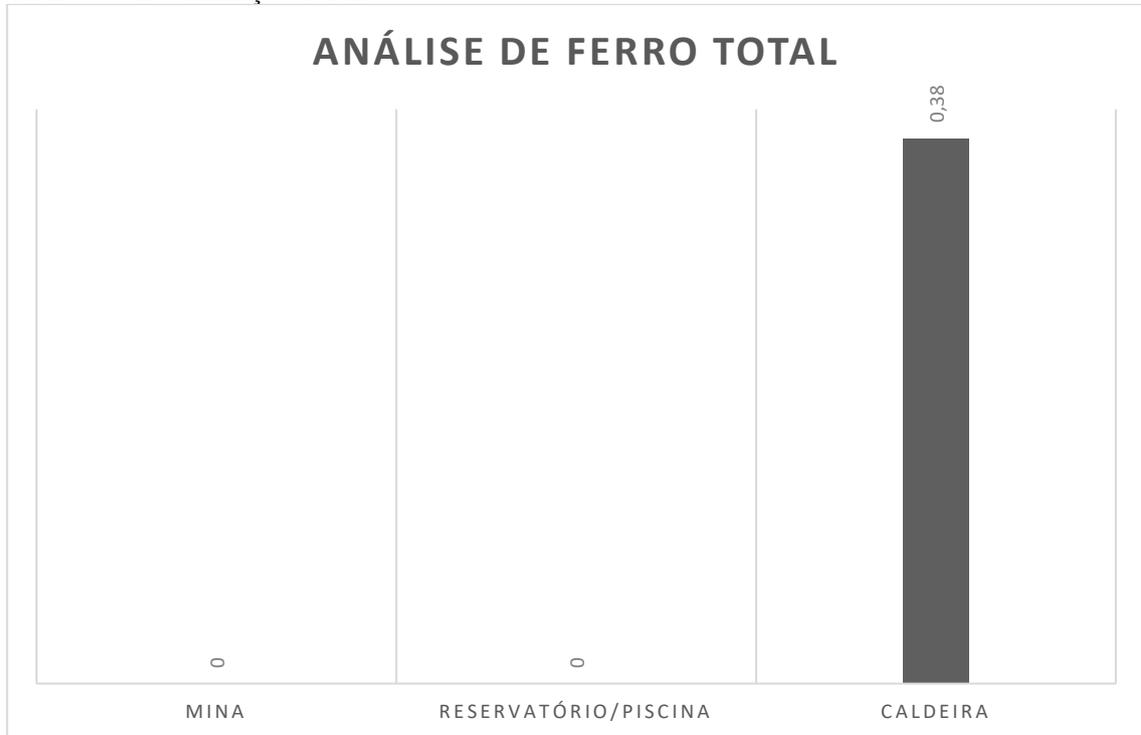
A elevação de concentrações de Sílica pode provocar incrustações nas tubulações da caldeira e conseqüentemente aumentar o consumo de energia por meio da maior queima de combustível, portanto demanda o uso de maior quantidade de produtos químicos para tentar reverter o quadro para que os resultados do acompanhamento dessas análises permaneçam dentro dos parâmetros desejáveis.

Considerando os valores demonstrados no Gráfico 04, o índice de sílica apresentou-se elevado nas amostras coletadas da fazenda. Isto é compreensível devido ao ciclo de concentração da água, o qual é controlado através da descarga de fundo da caldeira e STD elevado.

Já para as amostras da água da mina e do reservatório, os resultados analíticos ficaram dentro do esperado por estarem sofrendo um tratamento leve de controle por cloro o que decanta as partículas permitindo níveis aceitáveis, segundo recomendações e não se necessita de uma ação emergencial. Esses resultados estão de acordo com os trabalhos realizados por Rothbarth (2011), que realizou análises acerca do tratamento de águas para caldeiras de alta pressão, informando que os níveis de sílica se encontravam abaixo de 0,02 ppm ou 20 ppb no vapor, o qual garante um excepcional condicionamento do sistema. Níveis elevados da Sílica no vapor,

em consonância com elevados níveis de Sódio podem aplicar maiores dificuldades ao sistema de geração de energia através da turbina. Os depósitos em palhetas de turbinas não são raros.

Gráfico 05: Determinação de ferro



Fonte: O Autor.

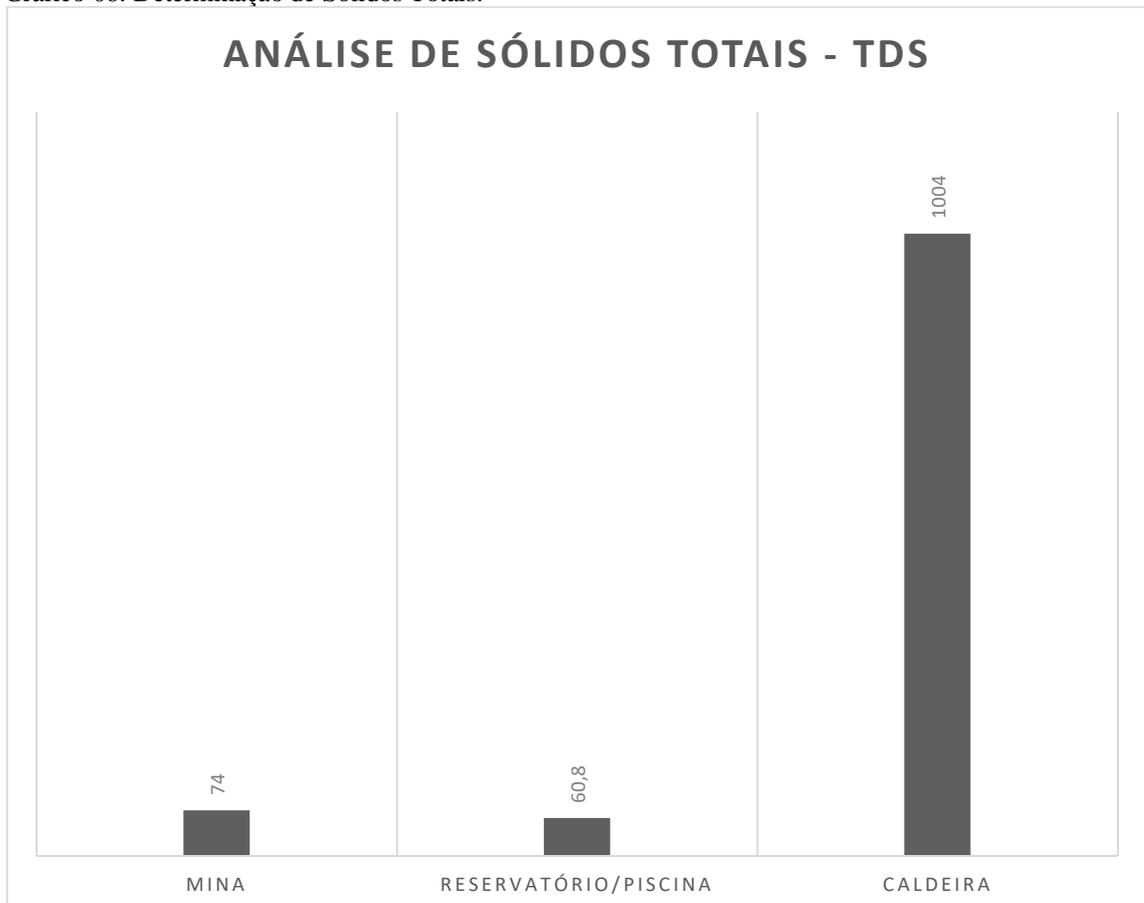
O níveis correspondentes de ferro demonstrados pelo Gráfico 05, também demonstraram-se elevados no resultado médio das amostras da fazenda para a caldeira, esse nível elevado se dá devido ao ciclo de concentração da água e a possível presença de oxigênio contido no fluido, que para questão de elevados níveis de sólidos e sais é controlado via descarga de fundo da caldeira, conforme verificado no Gráfico 06. Cabe a essa fazenda um olhar técnico mais crítico no que se refere a maiores vistorias e análises para efetuar um controle eficiente com o tratamento específico para a caldeira. Caso seja necessário, o tratamento necessitará ser reforçado com produtos químicos ou tempo de purga maior para eliminar essa concentração alta de ferro que tem potencial para influenciar não somente influenciar na caldeira, mas também nas linhas de vapor.

Importante ter em mente que esses níveis elevados de ferro podem estar diretamente conectados com a ocorrência de oxidações na linha de produção de vapor que podem estar concentrados na caldeira, vale salientar que como as Figura 06 e Figura 07 demonstraram, essas tubulações já foram substituídas porém devido ao não tratamento adequado ainda é possível notar que há ainda um nível corrosão constante que pode estar prejudicando o funcionamento

do sistema no longo prazo. Além de contatar a presença da corrosão, esses índices também poderão provocar incrustações nas tubulações da caldeira devido ao fato de o ferro ser um elemento ligante, bem como aumento excessivo do consumo de combustível para atender aos mesmos níveis necessários para o trabalho. O material metálico da caldeira pode sofrer corrosão por níveis de pH baixos e por ataque pelo oxigênio dissolvido na água da caldeira. Através do álcali é feita a correção do pH e desaerando se remove a presença do oxigênio da água dessa forma pode-se alimentar a seção pré-caldeira com uma solução de um sequestrante de oxigênio, que normalmente se trata de agentes redutores, como o sulfito de sódio e hidrazina. O sulfito reage com o oxigênio formando sulfato. A hidrazina reage com o oxigênio formando nitrogênio e água.

Os cloretos podem estar presentes na forma de sais de cálcio, ferro e magnésio. E se, em concentrações altas, esses íons podem causar corrosão nas tubulações da caldeira, nos equipamentos de aço, formar incrustações, paredes e equipamento (ANDRADE, 2008).

Gráfico 06: Determinação de Sólidos Totais.

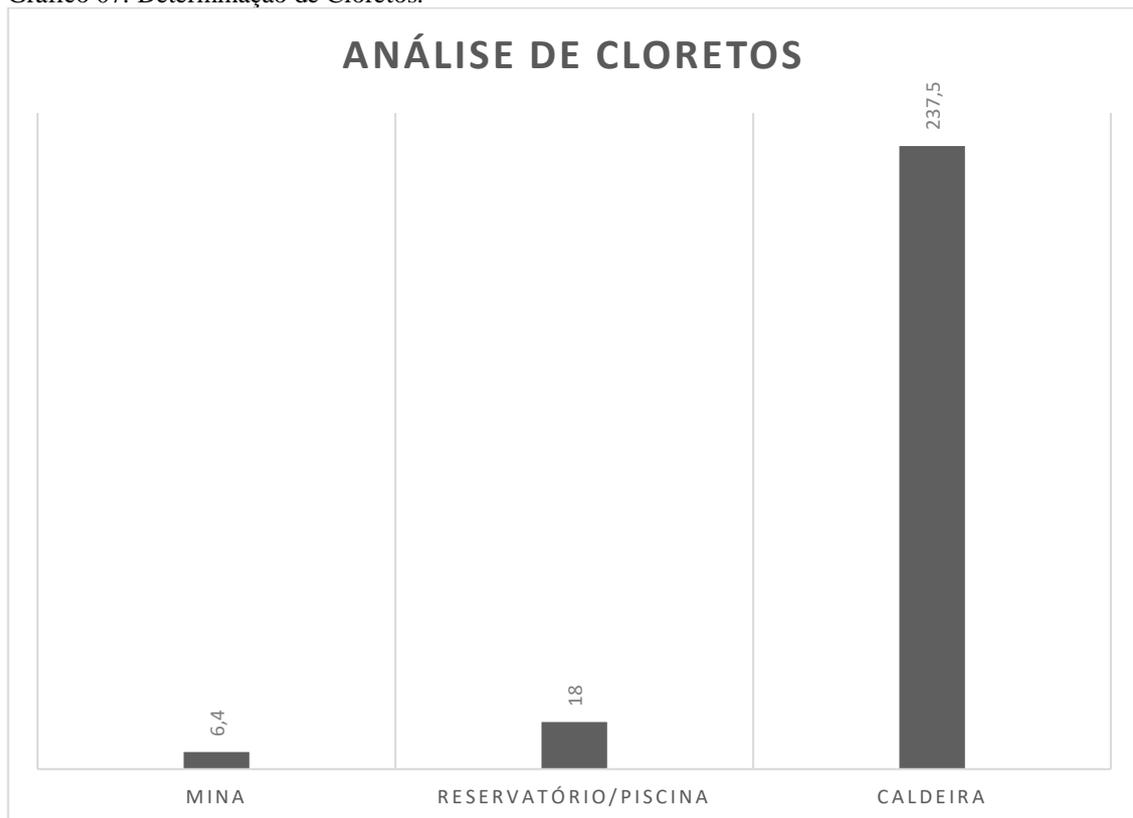


Fonte: O Autor.

Para a análise dos sólidos totais como demonstrado no Gráfico 06 os parâmetros estão, ainda que elevados, dentro dos parâmetros estabelecidos. Todavia cada organização possui um padrão específico quando se trata da origem de sua água. Os sólidos totais dissolvidos elevados, na desta fazenda é justificado pois verifica-se que esses STD podem ter influências de outras substâncias como a sílica.

Como Pereira, 2009, revela no estudo sobre a otimização do tratamento químico de água e sua reutilização usando nanofiltração, onde relata que é crucial a purga contínua da caldeira para que sejam conduzidos para o tanque, onde também se é armazenado as purgas da caldeira, para tratamento e reuso. Assim, é possível ter um maior aproveitamento da água. Como a água das purgas passa a ser reutilizada, deixando de ser fluido de descarte, as purgas podem estar abertas de modo a garantir os níveis de condutividade das caldeiras no parâmetro recomendado para um funcionamento adequado.

Gráfico 07: Determinação de Cloretos.



Fonte: O Autor.

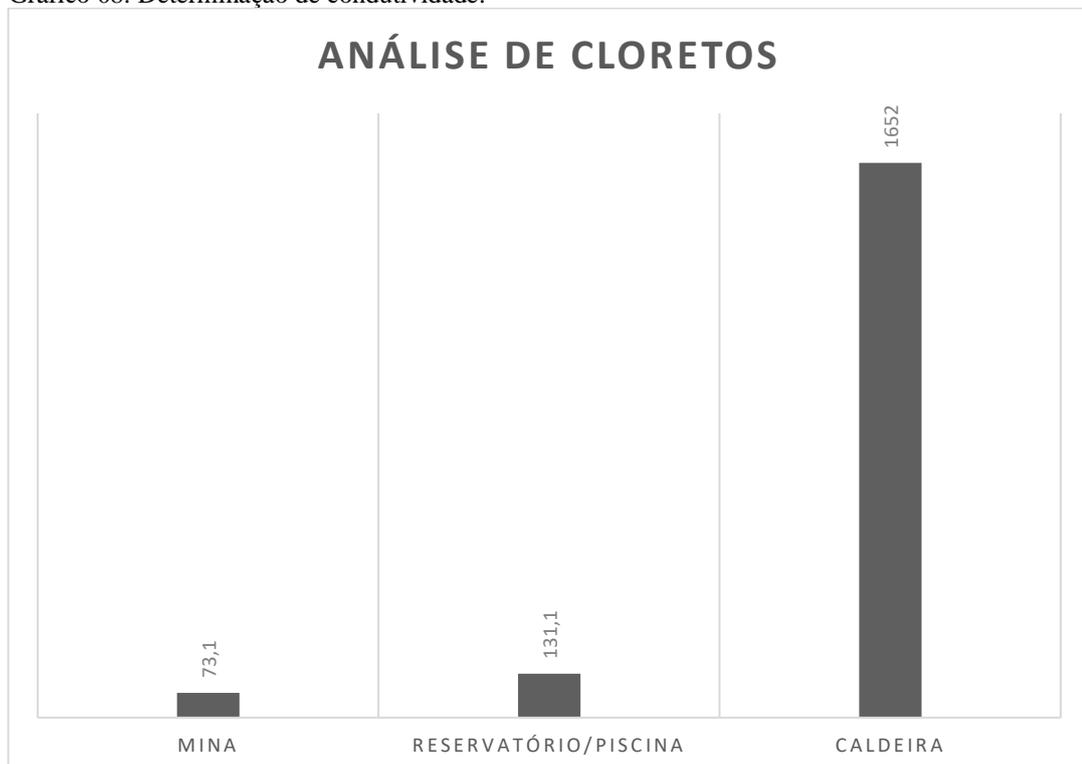
Os resultados demonstrados no Gráfico 07 sendo valores encontrados para cloretos em todas as análises estão adequadas, para as águas de reposição, alimentação, porém com um leve aumento no reservatório, onde nos dias de coleta não havia resquícios do tratamento em cloro. Já para a caldeira entramos na mesma análise já efetuada. Como o cloro é altamente corrosivo

e tem relação direta com os cloretos, é o possível causador da elevação tanto dos cloretos como do ferro pela oxidação.

Esses cloretos podem ser encontrados na forma de sais de cálcio, ferro e magnésio. E se, em maiores concentrações, esses íons podem vir a causar corrosão nas tubulações das caldeiras, equipamentos de aço, formar incrustações em pisos, paredes e equipamentos. Assim é possível notar, a importância da utilização de água com teores mínimos de cloretos, pois esse parâmetro é de importância absoluta, podendo vir a causar inúmeros problemas com diversos equipamentos, prejudicando o andamento do processo na indústria (ANDRADE 2008).

Desta forma se a água utilizada na indústria demonstra altos níveis de cloretos (NaCl) expressos em mg/L, será o possível causador de problemas nas principais instalações da unidade. Ainda, a demasia desse íon pode representar focos de contaminação fecal, devido ao fato de urina em esgotos domésticos e piscinas, dessa forma, com o teor de cloretos na água, é possível descobrir o grau de mineralização ou obter indícios de poluição. Além disso, os cloretos podem ser originados de processos de fertilização do solo próximos às redes de nascentes, como no caso da mina, que devido a processos de lixiviação causados pela chuva, atingem os solos e conseqüentemente as águas subterrâneas, e também oriundas de lixo doméstico e industrial disposto inadequadamente nas agroindústrias (LEITE et.al, 2003).

Gráfico 08: Determinação de condutividade.



Fonte: O Autor.

A condutividade expressa nos valores encontrados nas análises expressas no Gráfico 08, estão normais para as águas de reposição e alimentação, porém na caldeira esses valores aumentam drasticamente. Isso se deve ao fato de haver a presença de Sílica e concentrações de ferro solúvel na solução, ou seja, se a concentração de sais dissolvidos na água de caldeira, estivessem em padrões bem menores implicaria em um bom funcionamento da caldeira devido a probabilidade mínima de formação de sais insolúveis que poderiam ocasionar em consequências danosas na geração de vapor.

Na prática é necessário ressaltar que o tratamento ideal para a caldeira não consiste apenas em um processo químico, dando a devida atenção a processos como a realização das descargas de fundo com maior frequência para que haja maior redução dos parâmetros danosos. E quando for aplicado o tratamento químico deve-se ter maior constância e regularidade para um melhor funcionamento e durabilidade dessas propriedades para a saúde dos equipamentos e da caldeira.

Boas práticas operacionais não são suficientes para garantir a não volatilidade destes elementos. Estudos realizados em laboratórios de pesquisa de fabricantes de equipamentos demonstraram que as variações de concentrações de sílica e sódio levam à ocorrência arraste volátil para turbinas e periféricos (ROTHBARTH, 2011).

9 CONCLUSÃO

Conforme foi apresentado em análises é de suma importância fazer o devido acompanhamento dos fluidos de trabalho das caldeiras que podem dizer muito sobre a saúde dos equipamentos e tubulações. Essa atenção voltada para esses parâmetros da água pode garantir uma durabilidade maior dos equipamentos, menor consumo de combustível, prevenir acidentes e aumentar a eficiência de todo o sistema.

Desta forma é claro a importância da atividade deste equipamento nos setores industriais, porém suas necessidades são muito específicas e requerem grande atenção. Profissionais habilitados, fluido em concordância, manutenções bem aplicadas e análises periódicas são o diferencial para que esses equipamentos possam desempenhar o papel que a indústria necessita.

Em um último aspecto, para as maiores prevenções contra agente causadores de problemas como corrosões e incrustações, podem ser adotados procedimentos operacionais adequados ao sistema, como purgas, e adicionando-se produtos químicos específicos, como mostrado a seguir: inibidores de corrosão, a base de álcalis e sequestrantes de oxigênio; dispersantes, a base de polímeros, para atuação em sólidos suspensos, sais dissolvidos, matéria orgânica e outros contaminantes; controle de descargas para prevenir depósitos e arraste. Lembrando que é necessária uma avaliação da viabilidade da troca do reservatório, piscina, para algo mais adequado sem o uso de agentes como cloro. Contudo, para uma eficiente prevenção de problemas, não basta um bom controle operacional do sistema e a adição de bons produtos químicos à água, é necessário também se efetuar um acompanhamento das características da água do sistema, dos teores de produtos químicos, de contaminantes eventuais e de efetuar-se um monitoramento que permita avaliar o nível de proteção que se está conseguindo com o tratamento contra a corrosão, a deposição e o arraste. Só assim será possível detectar as falhas e corrigi-las a tempo, antes de piores consequências e prejuízos.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, Nélío Jose de. **Higienização na indústria de alimentos: Avaliação e controle da adesão e formação de biofilmes bacterianos**. São Paulo: Varela; 2008.
- AZZOLINI, J. C.; FRINHANI, E. M.; ZARDO, F. Água para sistemas geradores de vapor. **Revista Meio Filtrante On-Line**, n. 24, p. 1-8, 2007.
- BASHAM, D. L.; WRIGHT, J. W.; FERGUSON, K. I.; MOY, G. W. Industrial water treatment operation and maintenance. **Unified Facilities Criteria (UFC)**, p. 3-240FN, Department of Defense, USA, 2005.
- BAZZO, Edson. **Geração de Vapor**. 2. ed. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1995.
- BIZZO, W. A. **Geração, distribuição e utilização de vapor**. Campinas: FEM/Unicamp, 2003.
- BOTELHO, M. H. C.; BIFANO, H. M. **Operação de caldeiras. Gerenciamento, Controle e Manutenção**. São Paulo,SP: Edgard Blücher, 2011.
- BRASIL. Ministério do Trabalho. **NR-13 Caldeiras e vasos de pressão** – Portaria N0 594 de 28/04/2014-item 13.3. 1. Disponível em:
<http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr13.htm>. Acesso em: 20 de maio 2019.
- CARVALHO, A. R. P. **Tratamento de geradores de vapor em indústrias alimentícias**, 1996. Disponível em: <http://kurita.com.br/index.php/artigos-tecnicos/tratamento-de-caldeiras-em-industrias-de-alimentos/>. Acesso em: 10 de ago. de 2019.
- CASTRO, V. G. **Utilização da Água na Indústria de Alimentos**. São Paulo: Universidade Castelo Branco, p. 45, 2006.
- DANTAS, E. **Geração de vapor e Água de Refrigeração–Falhas-Tratamentos–Limpeza Química**. Rio de Janeiro: Ecolab, 1988.

DE OLIVEIRA, L.S.; RIBEIRO, W. F.; BARBOSA, S. A. Análise da qualidade da água da chuva para uso em caldeiras industriais. **Interfaces Científicas-Saúde e Ambiente**, v. 5, n. 1, p. 163-172, 2016.

ELIA NETO, A. et al. **Manual de conservação e reuso de água na agroindústria sucroenergética**. Brasília: ANA, 2009.

GENTIL, Vicente. **Corrosão**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996.

GYURKOVITS, José L. **Caldeiras. Apostila**: (S.L), 2004. Disponível em <http://www.ifba.edu.br/professores/armando/SMS/Unid%20I%20HST/Gyurkovits%20apostila%20caldeiras.pdf>. Acesso em: 16 jul. 2019.

PERA, Hildo. **Geradores de Vapor**: Um compêndio sobre conversão de Energia com vistas à preservação da Ecologia. São Paulo: Ed. Fama, 1990.

LEITE, Mônica O. et al. Controle de qualidade da água em indústrias de alimentos. **Revista Leite e Derivados, São Paulo**, v. 69, p. 38-45, 2003.

NAIME, Roberto Harb; CARVALHO, Sérgio; NASCIMENTO, Carlos Augusto. Avaliação da qualidade da água utilizada nas agroindústrias familiares do Vale dos Sinos. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 2, n. 1, p. 105-119, 2009.

PARRON, L. M.; MUNIZ, H. D. F.; PEREIRA, C. M. **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água**. Brasília: Embrapa Florestas-Documents (INFOTECA-E), 2011.

PEREIRA, Mafalda Maria Castro Monteiro da Silva. **Optimização do Tratamento Químico de Água e sua Reutilização usando Nanofiltração**. Mestrado Integrado em Engenharia Química - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2009.

ROTHBARH, Arno. Disposição dos efluentes da osmose reversa. **Revista Meio Filtrante**, n. 51, jun-ago 2011.

SAIDUR, R.; AHAMED, J. U.; MASJUKI, H. H. Energy, exergy and economic analysis of industrial boilers. **Energy policy**, v. 38, n. 5, p. 2188-2197, 2010.

SANTOS, F. G.; FELICIANO, S. Determinação Da Dureza Total Da Água De Poços Artesianos No Município De Ourinhos – Sp. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 7, 2008, Ourinhos – SP. **Resumos**. Departamento de Ciências Biológicas Faculdades Integradas de Ourinhos – FIO/FEMM.

TROVATI, Joubert. **Tratamento de água para geração de vapor: caldeira**, 2004.

Disponível em http://www.snatural.com.br/PDF_arquivos/Torre-Caldeira-Tratamento-Agua-Caldeira.pdf., Acesso em: 22 de out. de 2019

ZARPELON, Willian; AZZOLINI, José Carlos. Caldeiras De Alta Pressão: Caracterização e Avaliação da Qualidade do Tratamento das Águas de Abastecimento. **Unoesc & Ciência-ACET**, v. 6, n. 2, p. 141-154, 2015.