

**MARINHA DO BRASIL**  
**CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA**  
**CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAL DE MÁQUINAS - APMA.1/2019**

**LUIZ ALFREDO DOS REIS VIRGINIO JUNIOR**

**TRATAMENTO DE ÁGUA DE CALDEIRAS EM UNIDADES FLUTUANTES DE  
REGASEIFICAÇÃO E ARMAZENAMENTO (FRSU)**

**RIO DE JANEIRO**

**2019**

**LUIZ ALFREDO DOS REIS VIRGINIO JUNIOR**

**TRATAMENTO DE ÁGUA DE CALDEIRAS EM UNIDADES FLUTUANTES DE  
REGASEIFICAÇÃO E ARMAZENAMENTO (FRSU)**

Monografia apresentada como Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquinas do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, como parte dos requisitos para obtenção do Certificado de Competência Regra III/2 de acordo com a Convenção STCW 78 Emendada.

Orientador: Ramissés César da Silva Santos.

**RIO DE JANEIRO**

**2019**

**LUIZ ALFREDO DOS REIS VIRGINIO JUNIOR**

**TRATAMENTO DE ÁGUA DE CALDEIRAS EM UNIDADES FLUTUANTES DE  
REGASEIFICAÇÃO E ARMAZENAMENTO (FRSU)**

Monografia apresentada como Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquinas do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, como parte dos requisitos para obtenção do Certificado de Competência Regra III/2 de acordo com a Convenção STCW 78 Emendada.

Data da Aprovação: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Orientador: Prof. Ramissés César da Silva Santos

---

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: \_\_\_\_\_

---

Assinatura do Aluno

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho aos meus pais, por me apoiarem, suportar minhas ausências e sempre acreditarem no meu sucesso.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por me dar forças para concluir mais essa etapa, aos meus pais, a minha noiva Angélica, minha irmã e meu sobrinho que está chegando nesse mundo louco.

## **EPÍGRAFE**

O mar , quando quebra na praia, é bonito é bonito.

(Dorival Caime)

## RESUMO

Esse trabalho foi elaborado com a finalidade de descrever o tratamento de água de caldeiras, em unidades FRSU. A vida útil da caldeira está diretamente relacionada nas maneiras que são feitas a análise e tratamento da água de alimentação. E um tratamento incorreto pode acabar gerando desgaste pré-maturo dos materiais, devido à acentuada corrosão do material, além de provocar malefícios aos sistemas que operam com vapor, tais como turbos geradores e turbo-bombas. Para evitar esse mau uso é importante à empresa investir em treinamentos visando a melhoria contínua e se manter atualizados com novos produtos químicos fornecidos pelas empresas para o tratamento da água da caldeira.

**Palavras chave:** Tratamento. Caldeiras. Vapor. Análise. Treinamento.

## **ABSTRACT**

This work was elaborated with the purpose of describing the water treatment of boilers, in FRSU units. The life of the boiler is directly related in the ways that are made to the analysis and treatment of the feed water. And improper handling can lead to premature wear of the materials due to severe corrosion of the material, as well as causing malfunctions to systems that operate with steam, such as turbo generators and turbo-pumps. To avoid such misuse it is important for the company to invest in training aimed at continuous improvement and to keep up to date with new chemicals supplied by companies for the treatment of boiler water.

**Keywords:** Treatment. Boilers. Steam. Analyze. Training.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES/FIGURAS

<b>Figura 1:</b>	Caldeira Flamatubular	12
<b>Figura 2:</b>	Caldeira Aquatubular	13
<b>Figura 3:</b>	Caldeira escocesas	14
<b>Figura 4:</b>	Caldeira elétrica	15
<b>Figura 5:</b>	Incrustação causa por fosfato, sílica, cálcio e magnésio	18
<b>Figura 6:</b>	Corrosão ocasionada por baixo pH.	19
<b>Figura 7:</b>	Explosão de caldeira	25

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

<b>FRSU</b>	Floating Storage Regasification Unit
<b>GNL</b>	Gás Natural Liquefeito
<b>CIAGA</b>	Centro de Instrução Almirante Graça Aranha
<b>MDO</b>	Marine Diesel Oil
<b>STCW</b>	International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers
<b>IMDG</b>	International Maritime Dangerous Goods Code

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>C</b>	Carbono
<b>N</b>	Nitrogênio
<b>Ca</b>	Cálcio

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	10
<b>2</b>	<b>CALDEIRAS</b>	11
<b>2.1</b>	<b>Tipos de Caldeiras</b>	12
2.1.1	Caldeiras flamotubulares	12
2.1.2	Caldeiras Aquatubulares	13
2.1.3	Caldeiras escocesas	14
2.1.4	Caldeiras Elétricas	15
<b>3</b>	<b>TRATAMENTO DE ÁGUA DE CALDEIRA</b>	16
<b>3.1</b>	<b>Tratamentos primários para águas</b>	16
3.1.1	Tratamento - Fosfato	17
3.1.2	Controle do PH	18
3.1.3	Cloretos	19
3.1.4	Hidrazina e Amônia	20
3.1.5	Condutividade	21
3.1.6	Dureza	22
3.1.7	Alcalinidade	23
3.1.8	Sílica	24
<b>4</b>	<b>RISCOS DE EXPLOSÃO</b>	25
<b>5</b>	<b>LEIS E NORMAS NACIONAIS NA OPERAÇÃO DE CALDEIRAS</b>	26
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	28

## 1 INTRODUÇÃO

Uma Unidade de Regaseificação de Armazenamento Flutuante (FSRU - Floating Storage Regasification Unit) é um componente vital necessário ao transitar e transferir Gás Natural Liquefeito (GNL) através dos canais oceânicos. Portanto, o FSRU pode ser denominado como um tipo especial de navio usado para a transferência de GNL. O uso de caldeiras em unidades FRSU tem aumentado ao longo dos anos, principalmente devido às novas tecnologias empregadas na geração de vapor e no uso de novos materiais, os quais aumentaram consideravelmente a vida útil dos equipamentos, além de propiciar a diminuição de peso e aumento de resistência a corrosão e fadiga de material. Em suma, caldeira é um equipamento que produz vapor e conseqüentemente trabalho (energia térmica), energia esta que é usada em diversas partes do navio, como na movimentação de turbinas ligadas à propulsão, bombas (turbo bombas) ou com equipamentos que gerem energia elétrica (como um turbo gerador); aquecimento de água e também de óleos lubrificantes, óleos pesados como o Bunker ou mais leves como o MDO (Marine Diesel Oil) em navios, dentre diversas outras funções. As caldeiras podem ser classificadas como: Caldeiras Flamatubulares, Caldeiras Aquatubulares, Caldeiras Elétricas; sendo as caldeiras aquatubulares uma das mais perigosas, tendo em vista a sua forma de funcionamento; incrustações podem ocasionar grandes explosões.

Portanto, este presente trabalho visa principalmente orientar sobre o tratamento de água para o abastecimento de caldeiras, mostrando a sua importância e explicitando os tipos e alertar sobre os riscos do manuseio deste equipamento, visando sempre a manutenção preditiva e a preventiva deste trocador de calor, para que o mesmo tenha alto grau de segurança e eficiência, evitando assim acidentes e explosões.

## **2. CALDEIRAS**

Caldeira é um equipamento que produz vapor e sua principal finalidade é produzir trabalho. Uma caldeira é composta de dois sistemas básicos separados. Um é o sistema vapor-água, também chamado de lado de água da caldeira, e o outro é o sistema combustível-ar-gás da combustão, também chamado de lado de fogo da caldeira.

Segundo BAPTISTA (1989), a caldeira é um conjunto de tubos organizados de forma tal a constituírem uma câmara, na qual a água passa por dentro dos tubos, sobre os quais incide diretamente chama de aquecimento. São chamadas caldeiras aquatubulares para produção de vapor. Em outros modelos, caldeiras flamatubulares, a água passa por fora dos tubos e a chama percorre as paredes internas dos tubos.

As caldeiras possuem três partes essenciais, que são: a fornalha ou câmara de combustão, a câmara de água e a câmara de vapor. Os condutos para descarga dos gases e a chaminé não formam parte integral da caldeira, pois constituem construções independentes que são adicionadas ao corpo resistente da mesma, não estando expostas à pressão do vapor.

## 2.1- Tipos de Caldeiras

### 2.1.1 Caldeiras flamotubulares

De acordo com Martinelli Júnior (1998), também conhecidas como Piro-tubulares, Fogotubulares ou, ainda como Tubos de Fumaça, as caldeiras 14 flamotubulares são aquelas em que os gases provenientes da combustão (gases quentes) circulam no interior dos tubos, ficando por fora a água a ser aquecida ou vaporizada. As caldeiras flamotubulares têm uso limitado às instalações de pequeno porte, com pressões inferiores a 1500 KPa ou capacidade inferior a 15 ton/h de vapor saturado. Sua aplicação é restrita apenas as operações que admitem o uso de vapor saturado. (SAREV & MARTINELLI JÚNIOR, 1998). As caldeiras flamotubulares têm a vantagem do custo de aquisição mais baixo, de exigir pouca alvenaria e atender bem aumentos instantâneos de demanda de vapor. Como desvantagens, apresentam baixo rendimento térmico, partida lenta devido ao grande volume interno de água, limitação de pressão de operação (máx. 15 kgf/cm<sup>2</sup>), baixa taxa de vaporização (kg de vapor/m<sup>2</sup>.hora), capacidade de produção limitada, e dificuldades para instalação de economizador, superaquecedor e pré-aquecedor.

**Figura 1** - Caldeira Flamotubular



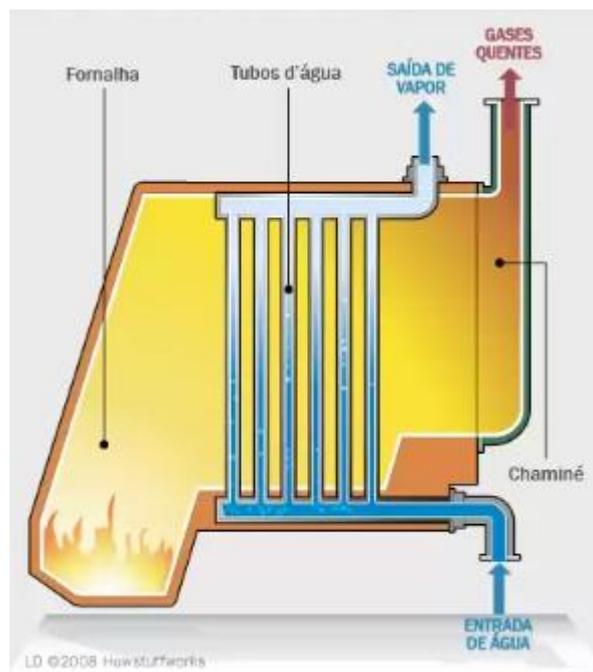
**Fonte:** Fonte: Apostila Geradores de Vapor.

### 2.1.2 Caldeiras Aquatubulares

De acordo com Martinelli Júnior (1998), também conhecidas como caldeiras tubos de água, se caracterizam pelos tubos situarem-se fora dos tubulões da caldeira (tambor), constituindo com estes um feixe tubular. Diferenciam-se das flamotubulares, pois a água circula no interior dos tubos e os gases quentes encontram-se em contato com sua superfície externa. Operam a média e alta pressão, resultando em alta produção de vapor.

Segundo Altafini (2002), as caldeiras aquatubulares se caracterizam pela circulação externa dos gases de combustão e os tubos conduzem massa de água e vapor. Este tipo de caldeira possui a produção de vapor maior que a das flamotubulares e são de utilização mais ampla, pois possuem vasos pressurizados internamente e de menores dimensões relativas. Isso viabiliza econômica e tecnicamente o emprego de maiores espessuras e, portanto, a operação em pressões mais elevadas. Outra característica importante desse tipo de caldeira é a possibilidade de adaptação de acessórios, como o superaquecedor, que permite o fornecimento de vapor superaquecido, necessário ao funcionamento das turbinas. As caldeiras aquatubulares têm uma subclassificação que as divide em 3 partes: Caldeiras de tubos retos, Caldeiras de tubos curvos e Caldeiras de circulação forçada.

**Figura 2 - Caldeira Aquatubular**

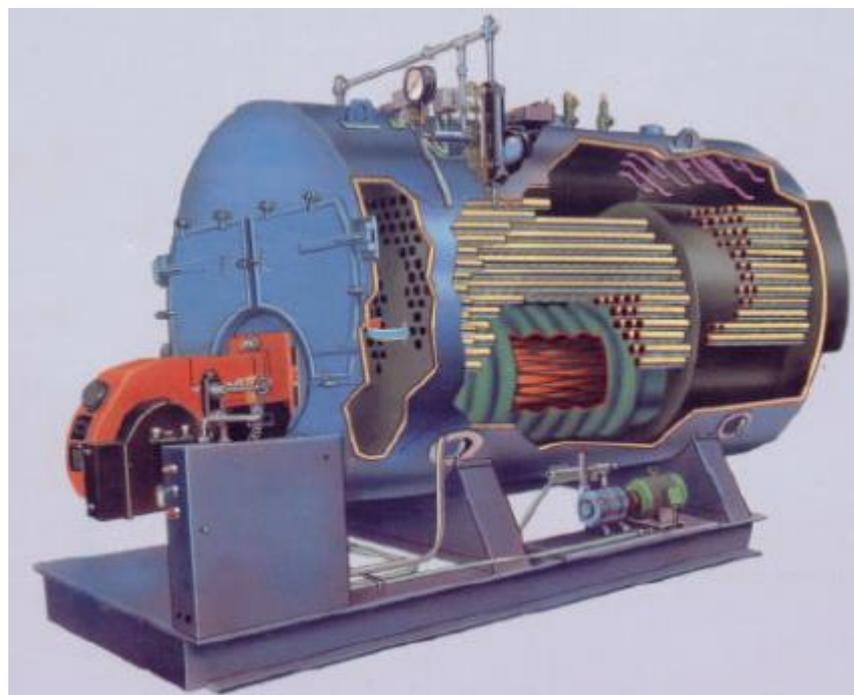


**Fonte:** (<https://www.solucoesindustriais.com.br>)

### 2.1.3 Caldeiras escocesas

Para Souza (2013), esse tipo de caldeira foi concebido especialmente para uso marítimo, por ser bastante compacta. São concepções que utilizam tubulação e tubos de menor diâmetro, todos os equipamentos indispensáveis ao seu funcionamento são incorporados a uma única peça, constituindo-se assim, num todo transportável e pronto para operar de imediato.

**Figura 3** - Caldeira escocesas



**Fonte:** (<https://www.solucoesindustriais.com.br>)

#### 2.1.4 Caldeiras Elétricas

Segundo Zigmantas (2011), nas caldeiras com resistências elétricas, a água é aquecida através de resistências blindadas imersas diretamente no líquido. Já nas caldeiras de eletrodos, o aquecimento do fluido (água) é feito através da passagem de corrente elétrica diretamente na água, que se esquentava por efeito Joule. As caldeiras elétricas, são fáceis de usar e de automatizar, com eficiência da ordem de 95%, e ainda obtêm as vantagens:

- a) ausência de poluição ambiental;
- b) manutenção simples;
- c) não há necessidade de área para estocagem de combustível e
- d) resposta rápida a variações no consumo de vapor.

Mas esses tipos de caldeiras também contam com algumas desvantagens, podemos citar o elevado custo de operação em razão dos custos de energia elétrica, ou seja, é necessário uma corrente elétrica elevada, o que condiz em geradores mais potentes e de maior tamanho para os navios, ocupando maior espaço na praça 21

**Figura 4 - Caldeira elétrica**



**Fonte:** (<http://www.adetec.ind.br>)

### **3 TRATAMENTO DE ÁGUA DE CALDEIRA**

Quando não se aplica o tratamento químico interno adequado e eficiente a uma água, esta pode ocasionar uma série de inconvenientes, que resultam em perdas de eficiência, segurança e combustível, as quais são indesejáveis num processo de funcionamento da caldeira. Com uma manutenção preventiva e com o mínimo de cuidados indispensáveis, pode-se obter o máximo proveito útil de um sistema com os mais baixos custos. Por esse motivo são necessários o controle e tratamento da água utilizada nestes processos.

A água é o principal fluido usado em sistemas de geração de vapor. A água considerada ideal para alimentação de caldeiras é aquela que não deposita substâncias incrustantes, não corrói os metais da caldeira e seus acessórios e não ocasiona arraste ou espuma; evidentemente, água com tais características é difícil de se obter, sem antes proceder a um pré-tratamento que permita reduzir as impurezas a um nível compatível, de modo a não prejudicar o funcionamento da caldeira.

Antes de ser tratada é feita a análise química de uma água permite avaliar sua composição bruta, que aliada às características técnicas da caldeira oferece subsídios quanto à escolha dos processos físicos de purificação que se fazem necessários, bem como, os tratamentos químicos propriamente ditos. Essa análise deve ser feita regularmente para se verificar possíveis alterações na qualidade da água.

#### **3.1- Tratamentos primários para águas**

Conforme Azzolini (2003), tratamentos primários são todos os processos físico-químicos a que é submetida à água, para modificar seus parâmetros de qualidade, tornando-a com características que atendam as especificações e padrões solicitados por normas específicas, onde determinam padrões específicos para uma aplicação industrial ou de potabilidade.

De acordo com Sarev & Martinelli Júnior (1998), a análise físico-química da água a ser utilizada fornece subsídios para a identificação dos contaminantes, permitindo a escolha de um ou mais métodos de tratamento externo, cuja finalidade é alterar a qualidade da água antes do ponto de utilização. Sempre que solicitada uma análise de água, devem-se selecionar os parâmetros a serem investigados pela análise.

Os primeiros tratamentos visando prevenção das incrustações surgiram na mesma época em que as caldeiras passaram a ter mais eficiência e maior produção de vapor por área de

aquecimento, principalmente após o início da Revolução Industrial. Os métodos usados na época eram bastante empíricos e funcionavam na base da tentativa e erro. Com o avanço da ciência, muitas técnicas foram desenvolvidas e aperfeiçoadas, mostrando-se mais ou menos efetivas na solução do problema.

### **3.1.1 Tratamento - Fosfato**

Segundo PEREIRA (1996), DREW PRODUTOS QUÍMICOS (1984), o fosfato tem papel importante no tratamento da água da caldeira. Sendo que sua adição no sistema sob as formas de fosfato trissódico ( $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ) e fosfato dissódico ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ) tem por função inibir as incrustações ocasionadas pelos sais de cálcio e magnésio.

O magnésio tende a formar incrustações sob a forma de hidróxido de magnésio quando formado na superfície quente dos tubos, porém, com a adição de fosfato de sódio, o hidróxido de magnésio tende a se formar longe da superfície dos tubos e, por consequência, não tende a formar incrustações.

O cálcio solúvel no sistema tende a se precipitar, tornando-se insolúvel, quando o meio possuir pH acima de 9,5. Com a adição de hidróxido de sódio o meio tende a se tornar mais alcalino e, por isso, uma dosagem ideal deve se feita afim de que se manter o pH sob condições controladas.

A transformação de sais de cálcio e magnésio solúveis em sais insolúveis é desejável, pois assim podemos controlar as quantidades destes sais na caldeira através de análise e extração de água da caldeira quando necessário.

É uma 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 ( $\text{OH}^-$ ), 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. (TROVATTI, 2003)

**Figura 5:** Incrustação causa por fosfato, sílica, cálcio e magnésio.



**Fonte:** (The Nalco Guide to Boiler Failure Analysis, 1991)

### 3.1.2. Controle do PH

Para o controle do pH, são utilizados produtos como a soda a 50% e a soda (hidróxido de sódio) em lentilhas. Em geral, não é necessário adicionar ácidos para regular o pH e a alcalinidade porque, geralmente, as águas de alimentação de caldeiras são bastante ácidas. No entanto, o controle da mesma é importante para se evitar a corrosão do ferro pela água. A medida do pH de uma água permite avaliar qualitativamente o grau de alcalinidade da mesma. O controle adequado do pH da água ou da alcalinidade, evita as incrustações e controla a formação de lama. Por outro lado, uma alcalinidade mais alta provoca formação de espuma e ataca a camada preta protetora de magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), podendo provocar corrosão intergranular.

Segundo PORT (1991), HESELTON (2005), o pH é determinado pela concentração de íons de hidroxila ( $\text{OH}^-$ ) numa substância e é uma medida da quantidade de íons de hidrogênio em uma substância. Numa escala que varia de zero (0) a quatorze (14), tem-se grandes quantidades de íons de hidrogênio nos valores próximos à zero, que vão diminuindo até chegarem ao valor de sete (7) na escala, o pH neutro da solução, ou seja, existe praticamente a mesma quantidade íons de hidrogênio e de hidroxila presente na solução. À medida que os valores vão aumentando em direção a 14, os íons de hidroxila vão aumentando e tornando o meio básico. Em concentrações próximas a 14 têm-se praticamente quantidades nulas de íons de hidrogênio.

**Figura 6:** Corrosão ocasionada por baixo pH.



Fonte: (<http://www.revistatae.com.br/3934-noticias>)

### 3.1.3 Cloretos

Segundo FLANAGAN (1978), PEREIRA (1996), os níveis de cloretos existentes na água do sistema de produção de vapor vão permanecer os mesmos ao menos que exista algum fator externo que altere esses níveis. Um dos fatores de contaminação por altos níveis de cloretos no sistema advém do fato de que, normalmente, o vapor utilizado no sistema é resfriado pela água do mar dentro de condensadores e eventuais vazamentos pelos tubos dos resfriadores irão contaminar o sistema de água de condensado, levando para dentro da caldeira a água contaminada pela água do mar.

Por possuir altas concentrações de cloretos de magnésio ( $MgCl_2$ ) e cloreto de cálcio ( $CaCl_2$ ), a água do mar, quando contaminando o sistema de condensado, exposta as altas temperaturas dentro da caldeira, acaba por atacar as superfícies expostas dos tubos de ferro da caldeira onde não existe camada protetora de magnetita ( $Fe_3O_4$ ), diminuindo o pH e favorecendo o aparecimento de ácido clorídrico de acordo com as reações abaixo:



O ácido clorídrico ataca a magnetita e o ferro segundo as reações abaixo:



Segundo as reações abaixo podemos ver também que cloretos de ferro existentes na água do sistema sofrem hidrólise:



### 3.1.4 Hidrazina e Amônia

Segundo DREW PRODUTOS QUÍMICOS (1984), FLANAGAN (1978), BAPTISTA (1989), a hidrazina é um composto fortemente alcalino, que possui a principal finalidade de retirar oxigênio do sistema de água de alimentação da caldeira, principalmente as de altas pressões, por ser um sequestrante químico, como segue a reação abaixo:



A hidrazina é benéfica ao sistema, pois diminui a corrosão de superfícies de cobre e ferro como se pode ver nas reações abaixo, onde são formados magnetita e óxido cuproso a partir de óxido férrico e óxido cúprico.



A hidrazina, quando aquecida acima de 300 graus Celsius, decompõe-se em amônia segundo a fórmula abaixo:



A decomposição em amônia é desejável, pois a mesma aumenta a alcalinidade do sistema de produção de vapor, seguindo com o mesmo pelas tubulações até os consumidores, porém quando em contato com oxigênio a amônia reage com o cobre e ligas de cobre das tubulações, dos condensadores e de qualquer outro consumidor de vapor, onde tende a causar problemas de corrosão.

### **3.1.5 Condutividade**

Segundo DREW PRODUTOS QUÍMICOS (1984), a água destilada possui alta resistividade elétrica, ou seja, não conduz facilmente corrente de eletricidade, porém a água possui contaminantes que aumentam a condutividade. A mensuração do ppm, de sais dissolvidos na água, através da condutividade, pode fornecer a quantidade desses contaminantes presentes, para tanto se usa um salinômetro.

Porém, quando a água possui substâncias que aumentem a alcalinidade, ou produtos químicos como a hidrazina, pode haver diferenças entre os valores reais e os que se obtêm na leitura do salinômetro.

Para eliminar esse problema, deve-se neutralizar a solução a ser analisada usando, por exemplo, ácido acético e, então, se efetua a leitura no salinômetro, onde a presença de ácido hidrocloreídrico formado irá indicar proporcionalmente a presença dos sais na água do sistema. Por isso, é muito importante manter um controle constante da dosagem de hidrazina no sistema da caldeira, porém deve-se notar que a alimentação do produto químico deve ser constante para que possa ser evitada a presença de oxigênio através do tratamento químico.

### 3.1.6 Dureza

Conforme Altafini (2002), os sais de cálcio e magnésio precipitam como carbonatos e sulfatos, formando os depósitos duros e isolantes do calor que são as incrustações. Embora exista uma unidade internacional (MEQ) miliequivalente, para exprimir a dureza, diversos países industrializados utilizam-se de medidas diferentes. No Brasil costuma-se exprimir a dureza em ppm (partes por milhão).

Deve-se distinguir:

-a dureza total: que é a medida indicativa da quantidade total de sais de cálcio e magnésio.

-a dureza de não carbonatos ou permanente: atribuída à presença de sais de magnésio, cloretos e sulfatos.

-a dureza temporária: essencialmente devida aos bicarbonatos e carbonatos. A dureza temporária é igual a diferença entre a dureza total e a permanente.

Segundo DREW PRODUTOS QUÍMICOS (1984), FLANAGAN (1978), a dureza da água está diretamente relacionada aos sais de cálcio e magnésio, por serem os principais contaminantes da água de alimentação da caldeira. A dureza da água a ser analisada é dada pelo somatório total de sais de cálcio e magnésio presente na água.

Ela pode ser subdividida em:

Sais sem dureza: são sais de sódio que permanecem misturados na água da caldeira, sem provocar depósitos quando a caldeira opera dentro das condições operacionais corretas.

Dureza alcalina: que se refere aos sais de magnésio e cálcio que se decompõem rapidamente quando na presença de calor e formam lama;

Dureza não alcalina: corresponde à presença de sulfato e de cloretos de cálcio e magnésio que podem se depositar nos tubos da caldeira e formar vários graus de dureza à medida que as condições internas da caldeira se alteram, tais como pressão e temperatura.

Portanto, na prática, possuir um transporte que se preocupe com tais questões é possuir um transporte que ao mesmo tempo em que movimentar a economia, mantém o estado da sua natureza, ou tenta interferir o menos possível, a fim de preservar o seu ambiente. A sustentabilidade é manifesta por meio da busca de um meio ambiente estável, os seres vivos saudáveis, os negócios financeiramente viáveis e as relações com qualidade. Sendo assim, para que se pense em uma economia marítima sustentável é preciso refletir sobre um desenvolvimento economicamente viável, capaz de conservar o meio ambiente.

### 3.1.7 Alcalinidade

Segundo PEREIRA (1996), FLANAGAN (1978), a alcalinidade da água está diretamente relacionada à presença de elementos químicos como hidróxidos (OH<sup>-</sup>), bicarbonatos (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) e carbonatos (CO<sub>3</sub><sup>-</sup>). Abaixo, podem-se ver reações nas quais se tem a formação de carbonato de cálcio a partir da decomposição de um carbonato ou bicarbonato e a formação de hidróxido de magnésio a partir da decomposição de um carbonato ou de um bicarbonato, respectivamente:

calor



Como se pode observar, quando existe a decomposição de um carbonato ou de um bicarbonato, também é formado dióxido de carbono, o que contribui para corrosão por gases dentro do sistema gerador de vapor, por formar ácido carbônico:



O dióxido de carbono, por consequência, aumenta o pH da água, reduzindo, assim, a quantidade de íons de hidroxila presente na água, além de favorecer a formação de bicarbonato ferroso, solúvel e que não favorece a proteção através de película aderente, segundo a equação:



A alcalinidade da caldeira pode ser medida através dos testes de alcalinidade parcial, valores de ponto máximo de fenolftaleína em presença de ácido (4,3 pH), e alcalinidade total, valores de ponto máximo de metilorange em presença de ácido (8,3 pH). A relação entre os pontos máximos indica se existem ou não bicarbonatos na caldeira

### 3.1.8 Sílica

Segundo PEREIRA (1996), DREW PRODUTOS QUÍMICOS (1984), a sílica é normalmente encontrada na água de alimentação da caldeira e é muito difícil de ser retirada do sistema. Tende a formar depósitos com propriedades isolantes, o que acaba trazendo perda nas trocas de calor nos tubos do evaporador e, também, pode sofrer decomposição e formar ácido silícico dentro da caldeira. Outro grande problema que a sílica causa está relacionada com o arraste. Quando entra no sistema, através do vapor produzido na caldeira, e é direcionada através das tubulações para as palhetas das turbinas, a sílica pode ocasionar desbalanceamento das palhetas e perda de eficiência nos consumidores de vapor.

A sílica, por interferir nas propriedades térmicas das trocas de calor, pode acabar por provocar sobreaquecimento dos tubos da caldeira, fazendo com que os mesmos venham a sofrer falhas. Outro problema relacionado à corrosão causada pelas incrustações ocasionadas por sílica, é que, em grandes sistemas de troca de calor, a sílica pode provocar corrosão localizada dos tubos da caldeira e, assim, provocar fraturas localizadas nos mesmos.

A pressão e o pH da água têm grande influência sobre o estado da sílica dentro do sistema de água para produção de vapor. Um pH elevado tende a manter a sílica na forma de silicato, o que diminui os problemas acima citados. Com relação à pressão do sistema de produção de vapor, quanto mais elevada for a pressão, mais problemas a sílica trará ao sistema.

A sílica no sistema de água de alimentação da caldeira é controlada através de extração contínua, afim de que os níveis mantenham-se sempre em limites tolerados. A alcalinidade da caldeira pode ser medida através dos testes de alcalinidade parcial, valores de ponto máximo de fenolftaleína em presença de ácido (4,3 pH), e alcalinidade total, valores de ponto máximo de metilorange em presença de ácido (8,3 pH). A relação entre os pontos máximos indica se existem ou não bicarbonatos na caldeira

## 4 RISCOS DE EXPLOSÃO

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

- 1) por se encontrar presente durante todo o tempo de funcionamento, sendo imprescindível seu controle de forma contínua.
- 2) em razão da violência com que as explosões acontecem. Na maioria dos casos suas consequências são catastróficas, em virtude da enorme quantidade de energia liberada instantaneamente.
- 3) por envolver não só os operadores, mas como também as pessoas que trabalham nas redondezas.
- 4) porque sua prevenção deve ser considerada em todas as fases: projeto, fabricação, operação, manutenção, inspeção e outras.

**Figura 7:** Explosão de caldeira



**Fonte:** (Foto: Imagem/TV Subaé)

## **5 LEIS E NORMAS NACIONAIS NA OPERAÇÃO DE CALDEIRAS**

O desenvolvimento das caldeiras, através dos séculos, foi acompanhado de inúmeros acidentes e fatalidades, desde seu desenvolvimento até os dias atuais. Foi visando a redução destes acidentes, que foram criadas normas internacionais e nacionais, as quais abrangem desde a construção destes equipamentos até a qualificação dos operadores de caldeiras. Neste presente trabalho, trataremos da principal Norma que abrange a construção, a manutenção das operações e equipamentos, conhecida como Norma Regulamentadora número 13 – Caldeiras e Vasos de Pressão, do Ministério do Trabalho e Emprego.

Esta norma é responsável por prover todo o conhecimento necessário na manutenção do equipamento, especificando os sistemas básicos que deverão estar presentes em um caldeira, tais como sistemas de alívio de pressão, indicadores de nível e pressão, além das informações necessárias que deverão constar no corpo do equipamento, onde possa ler-se, por exemplo, o nome do fabricante, o ano de construção, o modelo, pressão máxima de trabalho admissível.

Toda caldeira, onde tiver instalada deverá possuir as seguintes documentações, Prontuário da Caldeira, Registro de Segurança, Projeto de Instalação, Projetos de Alteração ou Reparo, Relatórios de Inspeção. Como percebe-se, esta documentação deverá estar no local onde a caldeira exista fisicamente, porém, muitas vezes, tais documentações são inexistentes, mal atualizadas ou mesmo estão nos escritórios da empresa, o que incorre em falta grave, a qual poderá acarretar multas a empresa e a possível paralisação das operações, devido a ordem expressa de parada do equipamento, por parte dos fiscais do Ministério do Trabalho e Emprego.

Deve-se salientar que todo equipamento operando sobre pressão, acima da pressão atmosférica deve possuir mecanismos para o alívio da pressão interna, caso esta ultrapasse o limite máximo, admissível para a pressão de trabalho do equipamento. Isto se deve aos inúmeros acidentes ocorridos durante todo o período de utilização destes equipamentos sobre pressão.

A Norma Regulamentadora número 13, do Ministério do Trabalho e Emprego ainda preconiza que todo o pessoal operador de caldeiras, deve passar por treinamento teórico, obedecendo à carga horária exigida, além de treinamento prático, antes de estar qualificado a operar caldeiras.

Deve atentar ao fato de que todos os produtos químicos utilizados no tratamento de água de caldeira, quanto ao seu manuseio e armazenagem, deverão seguir normas previstas,

específicas para tal, além daquelas constantes em suas fichas de produtos químicos, conhecidas como FISPIQ (Ficha de Informação de Segurança de Produtos Químicos), onde se verificam todas as informações necessárias ao manuseio, armazenagem, composição química, tratamento médico caso ocorra ingestão, além de outras informações pertinentes ao produto.

Equipamentos de proteção coletiva e pessoal, constantes na Norma Regulamentadora número 06, autorizados ao uso no Brasil, com seu respectivo CA (Certificado de Aprovação), deverão ser utilizados quando do manuseio de tais produtos químicos, a fim de evitar a contaminação do pessoal que utiliza- os para tratamento de água de caldeira.

## **6 CONCLUSÃO**

Do presente estudo, chega-se a conclusão que o tratamento de água das caldeiras requer uma condução especial para que as mesmas possam funcionar corretamente e ter um bom rendimento por um longo do tempo.

Regularmente deve-se ser feita a análise da água para evitar eventuais alterações em sua qualidade.

O condutor da caldeira necessita colher as amostras a ser analisadas de forma correta fazendo assim as correções posteriores e controle das dosagens de produtos químicos adicionados.

Um tratamento químico preventivo pode ser eficiente num sistema de geração de vapor, desde que se faça um estudo completo das características do equipamento e da água a ser usada no mesmo, e posteriormente utilizá-lo de forma correta, para se garantir a manutenção da eficiência do mesmo.

Portanto, o conhecimento do sistema de caldeiras, as manutenções preditivas e preventivas podem evitar graves problemas que podem ocasionar mortes, além de poder aumentar a vida útil de tal sistema, melhorar rendimento e diminuir os custos para o armador em outros tipos de manutenções.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALTAFINI, Carlos Roberto - **Curso de Engenharia Mecânica Disciplina de máquinas térmicas apostila sobre Caldeiras**. Universidade de Caxias do Sul. Centro de Ciência exatas e Tecnologia, 2010
2. BAPTISTA, A. J. A. **Condução e manutenção das caldeiras**: curso de Aperfeiçoamento para Oficial Superior de Máquinas. Rio de Janeiro: CIAGA, 1989.
3. DREW: **Tratamento de Água Para Caldeiras Marítimas**. São Paulo. Drew Produtos Químicos S/A. 1984.
4. HESELTON, K. E. et al. **Boiler Operator's Handbook**. Nova York: Marcel Dekker, Inc, 2005.
5. JUNIOR MARTINELLI, L.C. **Geradores de Vapor**. Universidade do Rio Grande do Sul. UERGS. Campus Paracambi, 2003.
6. PORT, R. D. et al. **Nalco Chemical Company: The Nalco Guide to Boiler Failure Analysis**. Nova York: McGraw-Hill, Inc, 1991.
7. SOUZA, Carlos Antonio dos Santos - **Monografia (APMA) sobre Tratamento de água aplicado às caldeiras** . Marinha do Brasil - Centro de Instrução Almirante Graça Aranha. Rio de Janeiro, 2013
8. TROVATTI, J. **Tratamento de água: geração de vapor**. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.
9. ZIGMANTAS, Paulo Vitor de Matos - **Caldeiras (CAD-1)**. Marinha do Brasil, Diretoria de Portos e Costas, 2011