

**CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE MÁQUINAS PARA OFICIAL**

BRUNO DE OLIVEIRA

ANÁLISE E TRATAMENTO DE ÁGUA DE CALDEIRAS EM UNIDADES FPSO

Rio de Janeiro

2014

BRUNO DE OLIVEIRA

ANÁLISE E TRATAMENTO DE ÁGUA DE CALDEIRAS EM UNIDADES FPSO

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

Orientador: Prof. José Carlos Fernandes Leão

Rio de Janeiro

2014

BRUNO DE OLIVEIRA

ANÁLISE E TRATAMENTO DE ÁGUA DE CALDEIRAS EM UNIDADES FPSO

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

Data da Aprovação: ____/____/____

Orientador: Prof. José Carlos Fernandes Leão (CIAGA)

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: _____

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a realização de mais esta etapa concluída. Aos familiares, amigos, professores, meus sinceros agradecimentos e votos de felicidades. Sigam em frente sem jamais desistirem de suas metas e ambições. Construam seus caminhos e os pavimentem bem, para que, ao sinal das tempestades eles não se desfaçam, mas mantenham-se sólidos e firmes para os que seguirem por eles junto a vocês.

EPÍGRAFE

Transportai um punhado de terra todos os dias e
fareis uma montanha.

Confúcio

RESUMO

O presente trabalho tem por função descrever o tratamento e análise de água de caldeiras, devido ao crescente uso destes equipamentos trocadores de calor, na geração de vapor a bordo de unidades FPSO. Deve-se notar que um tratamento incorreto acaba por reduzir a vida útil do equipamento, gerando desgaste pré-maturo dos materiais, devido à acentuada corrosão do material constituinte, além de provocar inúmeros malefícios aos sistemas que operam com vapor, tais como turbinas para geração de energia e turbo-bombas. Salienta-se que o correto tratamento da água é importante no treinamento do pessoal, que faz uso e mantém os equipamentos operando sob as condições indicadas pelos fabricantes.

Palavras chave: Tratamento. Caldeiras. Vapor. Análise. Corrosão.

ABSTRACT

The present work has the function describing the treatment and analysis of boiler water, due to the increasing use of such equipment, heat exchangers, on the steam generation aboard FPSO (Floating Production, Storage and Offloading) units. It should be noted that an incorrect treatment, ultimately shorten the life of the equipment, generating pre-mature wear of materials due to severe corrosion of constituent materials, and cause countless harm to systems that operate with steam, such as turbines power generation and turbo-pumps. It is noted that in addition to a correct treatment of the water, its use, according to criteria of salinity are of equal importance, beyond the criteria of training personnel who use and maintain the equipment operating under the conditions indicated by the manufacturers.

Keywords: Treatment. Boilers. Steam. Analisis. Corrosion.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1	DIMINUIÇÃO DA ESPESSURA DA PAREDE METÁLICA DE UM TUBO DE UM ECONOMIZADOR.	13
FIGURA 2	CORROSÃO PUNTIFORME EM REDE DE VAPOR SUPERAQUECIDO OCASIONADA POR OXIGÊNIO.	14
FIGURA 3	CORROSÃO CÁUSTICA NA PAREDE DOS TUBOS DE ÁGUA DA CALDEIRA.	14
FIGURA 4	CORROSÃO OCASIONADA POR ATAQUE DE HIDROGÊNIO À PAREDE DO TUBO.	15
FIGURA 5	CORROSÃO OCASIONADA POR SUPERAQUECIMENTO DAS PAREDES DOS TUBOS DA CALDEIRA E DEPÓSITOS DE CARVÃO E CINZAS.	15
FIGURA 6	CORROSÃO POR GRAFITAÇÃO NO IMPELIDOR DE UMA BOMBA DE ALIMENTAÇÃO DE ÁGUA DE CALDEIRA.	16
FIGURA 7	CORROSÃO POR DEZINCIFICAÇÃO POR CAMADA, EM UM COMPONENTE DE LATÃO, DE UMA BOMBA DE ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO DE CALDEIRA.	16
FIGURA 8	INCRUSTAÇÃO CAUSADA POR FOSFATO, SÍLICA, CÁLCIO E MAGNÉSIO.	18
FIGURA 9	CORROSÃO OCASIONADA POR BAIXO PH.	20
FIGURA 10	INCRUSTAÇÃO EM TUBO DE CALDEIRA, OCASIONADA POR HIDRÓXIDO DE SÓDIO NO LADO DO CALOR DO TUBO.	25

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1	AUMENTO DO PH À MEDIDA QUE SE ADICIONA FOSFATO TRISSÓDICO EM ÁGUA PURA.	19
GRÁFICO 2	GRÁFICO DE EVOLUÇÃO DOS PARÂMETROS DA CALDEIRA DE BORESTE.	38
GRÁFICO 3	GRÁFICO DE EVOLUÇÃO DOS PARÂMETROS DA CALDEIRA DE BORESTE.	38
GRÁFICO 4	GRÁFICO DE EVOLUÇÃO DOS PARÂMETROS DA CALDEIRA DE BORESTE.	39
GRÁFICO 5	GRÁFICO DE EVOLUÇÃO DOS PARÂMETROS DA CALDEIRA DE BOMBORDO.	41
GRÁFICO 6	GRÁFICO DE EVOLUÇÃO DOS PARÂMETROS DA CALDEIRA DE BOMBORDO.	41
GRÁFICO 7	GRÁFICO DE EVOLUÇÃO DOS PARÂMETROS DA CALDEIRA DE BOMBORDO.	42

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	BREVE HISTÓRICO	11
3	REFERENCIAL TEÓRICO	12
3.1	FORMAS DE CORROSÃO	13
3.2	FOSFATO	16
3.3	Ph	20
3.4	CLORETOS	20
3.5	CONDUTIVIDADE	21
3.5	HIDRAZINA E AMÔNIA	22
3.7	SÍLICA	23
3.8	ALCALINIDADE	24
3.9	DUREZA	25
4	PROCEDIMENTOS PARA COLETA DE AMOSTRA DE CONDENSADO DE VAPOR	27
5	LEIS E NORMAS NACIONAIS NA OPERAÇÃO DE CALDEIRAS	33
6	CONCLUSÃO	35
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36
	ANEXOS	37

1 INTRODUÇÃO

O uso de equipamentos trocadores de calor, caldeiras, em unidades FPSO tem crescido 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 redução de peso e aumento de resistência a ataques corrosivos e fadiga de material.

Este trabalho tem por finalidade evitar danos causados pela má utilização da água de alimentação, discorrendo sobre os danos causados ao equipamento, caldeira, e aos equipamentos que fazem uso de vapor, como meio de realizar trabalho, devido à precária manutenção da análise e tratamento da água de caldeira, o que acaba onerando a empresa, devido à redução da vida útil do equipamento, com intervenções de reparos em todo o sistema de vapor.

2 BREVE HISTÓRICO

O uso das caldeiras remete à antiguidade, quando Heron de Alexandria, desenvolveu um dispositivo capaz de fazer girar uma esfera por meio de vapor produzido através de um dispositivo desenvolvido por ele, no século II a.C.

Pode-se dizer que o uso das caldeiras modernas se deve ao grande desenvolvimento industrial, ocorrido na época conhecida como Revolução Industrial no século XVIII, onde diversos equipamentos, caldeiras, em suas diversas concepções foram desenvolvidos com o intuito de produzirem vapor e energia, para a utilização em movimentos das mais diversas máquinas, inclusive teares.

Existem diversos tipos de caldeiras, mas em sua grande maioria, elas pertencem a dois principais grupos, que são as caldeiras flamatubulares, onde as chamas circulam dentro dos tubos, aquecendo e trocando calor com a água circulante por fora dos mesmos, e as caldeiras aquatubulares, onde a água circula dentro dos tubos, sendo aquecida pelos gases da combustão pelo lado externo aos mesmos.

Estes dois tipos de caldeiras, aquatubulares e flamatubulares, são os mais encontrados a bordo das embarcações nos dias atuais, sendo que as caldeiras aquatubulares são mais utilizadas a bordo das unidades FPSO, devida à sua segurança de operação, reduzindo os riscos de acidentes.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

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.

O sistema de produção de vapor conta com vários equipamentos essenciais tais como, caldeira, onde é produzido o vapor superaquecido ou desaquecido; bombas de alimentação da caldeira, que possuem a finalidade de manter constante o nível de água dentro da caldeira através da chamada água de alimentação; desaerador, que possui a função de acumular a água de alimentação da caldeira, para alimentação da mesma e retirar, através do combinação de aquecimento e pressão, quantidade considerável de oxigênio da água; condensador atmosférico da caldeira, que possui a finalidade de condensar o vapor utilizado nos consumidores do sistema; tanque de dreno atmosférico, que possui a finalidade de receber o condensado do sistema e mandá-lo novamente ao desaerador.

A finalidade do tratamento da água da caldeira é estender a vida útil do trocador de calor, favorecer o aumento da eficiência da troca de calor na caldeira, favorecer a redução da quantidade de combustível para produção de vapor, reduzir a necessidade de manutenções corretivas dos equipamentos utilizadores de vapor, aumentar a vida útil do sistema de produção e condensação do vapor (BAPTISTA, 1989).

A corrosão e os depósitos são as principais causas de problemas relacionados ao tratamento de água da caldeira. A corrosão provoca fadiga do material, devido ao desgaste do metal, podendo ocasionar fratura e colapso do sistema trocador de calor. Pode ser ocasionada por gases dissolvidos na água ou pela combinação de elementos químicos que geram ácidos e diminuem a alcalinidade.

O aumento da pressão do sistema pode levar ao colapso do sistema, além de incorrer no fato de que os depósitos podem bloquear por completo os tubos do trocador de calor.

A água de alimentação da caldeira é uma mistura de sólidos dissolvidos e gases que, quando em condições controladas de evaporação, não tendem a provocar danos à caldeira e aos sistemas servidos. Normalmente utiliza-se água destilada para alimentar o volume de água requerido pela caldeira. Em condições emergenciais, também se pode usar água doce para alimentação da mesma.

A água de alimentação da caldeira tem que ser tratada quimicamente para reduzir os danos às tubulações da caldeira, às tubulações dos sistemas e aos equipamentos consumidores. Extrações de água também podem ser realizadas com a finalidade de diminuir os depósitos de lama, espuma e elementos incrustantes dentro da caldeira. Normalmente utilizam-se extrações contínuas, de superfície e de fundo.

3.1 FORMAS DE CORROSÃO

Segundo ZEITZ (1997), FLANAGAN (1978), DREW PRODUTOS QUÍMICOS (1984), a corrosão pode se dar de duas formas, através de ataque químico direto ao material metálico da caldeira na presença principalmente de oxigênio e gás carbônico e através de ação eletroquímica, principalmente de ação galvânica.

São exemplos de corrosão na caldeira:

- diminuição da espessura do tubo metálico: ocorre principalmente em caldeiras que não possuem um sistema de tratamento de água eficiente ou não possuem algum. É caracterizada pela diminuição das paredes dos tubos da caldeira.

Figura 1: Diminuição da espessura da parede metálica de um tubo de um economizador.



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

- corrosão puntiforme localizada: ocorre de forma rápida e pode levar à fratura do local onde ocorre se nenhuma atitude for tomada para sanar o problema. É representada por crateras nas superfícies do tubo;

Figura 2: Corrosão puntiforme em rede de vapor superaquecido ocasionada por oxigênio.



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

- corrosão cáustica: ocorre devido a altas concentrações na água da caldeira de íons de hidroxila (OH⁻), onde a magnetita em presença de hidróxido de sódio reage formando ferroato de sódio, ferrito de sódio e água.

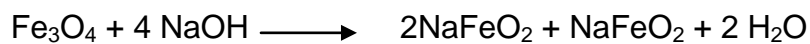


Figura 3: Corrosão cáustica na parede dos tubos de água da caldeira.



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

- ataque por hidrogênio: o metal exposto a altas temperaturas na presença de água produz magnetita e hidrogênio. O hidrogênio, na forma atômica, reage com o carboneto de ferro do metal e forma bolhas de gás metano que podem se romper e causar perdas de água.

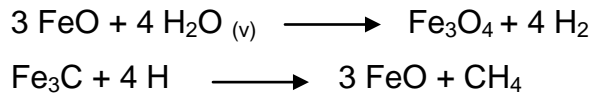


Figura 4: Corrosão ocasionada por ataque de hidrogênio a parede do tubo.



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

- corrosão por altas temperaturas: geralmente acontece quando as superfícies dos trocadores de calor estão expostas a altas temperaturas nas quais existe o sobreaquecimento do metal. Ela também pode ocorrer nas tubulações, onde os vapores dos gases superaquecidos atacam os suportes e as paredes dos tubos.

Figura 5: Corrosão ocasionada por superaquecimento das paredes dos tubos da caldeira e depósitos de carvão e cinzas.



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

São exemplos de corrosão no sistema de água de alimentação:

- grafitação: é um efeito que ocorre quando o ferro fundido, na presença da água do mar, é corroído e deixa como produto restante apenas flocos de grafite, que, por não possuírem força tensão entre eles, acabam por desmoronar uns sobre os outros.

Figura 6: Corrosão por grafitação no impelidor de uma bomba de alimentação de água de caldeira.



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

- dezincificação: ocorre em ligas de latão que contenham grandes quantidades de zinco expostas à água do mar. O latão sofre corrosão pela água do mar e o cobre da liga se deposita novamente na superfície do metal.

Figura 7: Corrosão por desincificação por camada, em um componente de latão, de uma bomba de água de alimentação de caldeira.



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

3.2 FOSFATO

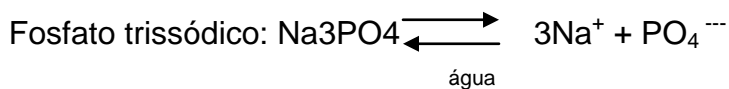
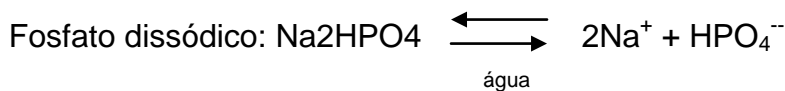
Segundo PEREIRA (1996), DREW PRODUTOS QUÍMICOS (1984), o fosfato tem papel importante no tratamento da água da caldeira. Sendo que sua adição no sistema sob as formas de fosfato trissódico (Na_3PO_4) e fosfato dissódico (Na_2HPO_4) tem por função inibir as incrustações ocasionadas pelos sais de cálcio 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 conseqüência, não tende a formar incrustações.

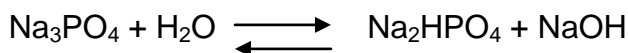
O cálcio solúvel no sistema tende a se precipitar, tornando-se insolúvel, quando o meio possuir pH acima de 9,5. Com a adição de hidróxido de sódio o meio tende a se tornar mais alcalino e, por isso, uma dosagem ideal deve se feita afim de que se manter o pH sob condições controladas.

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.

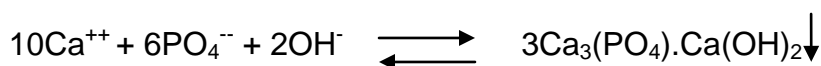
Os fosfatos tendem a formar íons quando dissolvidos na água:



Fosfato trissódico dissolvido em água formando fosfato dissódico e hidróxido de sódio:



Formação de hidroxiapatita através de meio alcalino contendo hidróxido de sódio:



A hidroxiapatita é um sal menos aderente às paredes do tubo, daí sua conveniência quando formado dentro do sistema de geração de vapor.

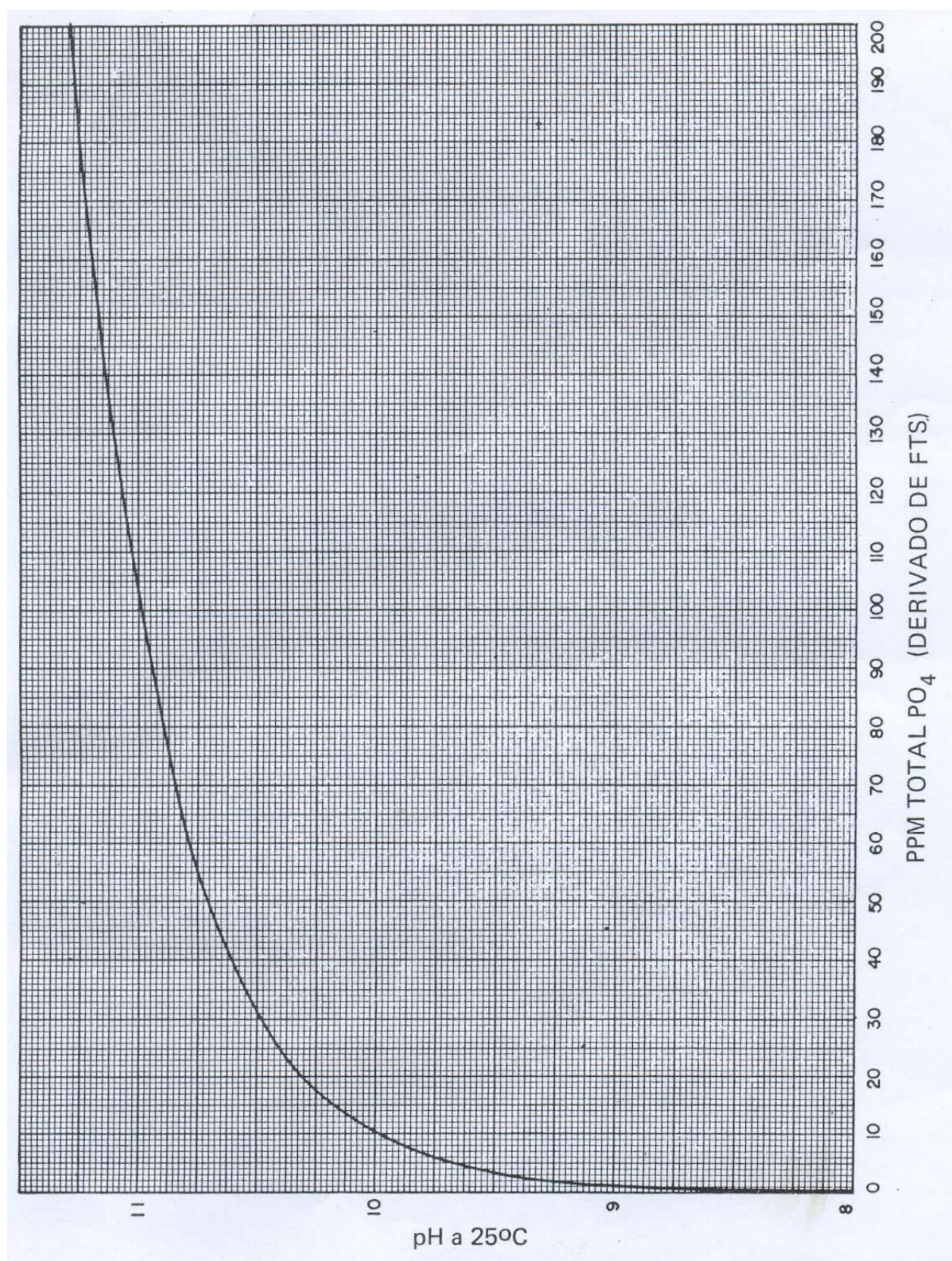
Figura 8: Incrustação causada por fosfato, sílica, cálcio e magnésio.



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

Podemos observar no gráfico a seguir que sucessivas adições de fosfato trissódico em água pura tende a aumentar consideravelmente o nível do pH no lado direito da curva, o que indica que quase todo fosfato trissódico é convertido em fosfato dissódico e hidróxido de sódio. Assim, a curva tende a crescer até um limite de 100 ppm de fosfato dissódico, sendo que tende a ser mais plana a partir desse ponto, o que indica que sucessivas adições em maiores quantidades de fosfato trissódico quase não surtem efeito no aumento de pH.

Gráfico 1: aumento do pH à medida que se adiciona fosfato trissódico em água pura.



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

3.3 PH

Segundo PORT (1991), HESELTON (2005), o pH é determinado pela concentração de íons de hidroxila (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 9: Corrosão ocasionada por baixo pH.



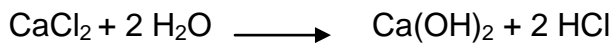
Fonte: (The Nalco Guide to Boiler Failure Analysis, 1991)

3.4 CLORETOS

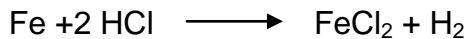
Segundo FLANAGAN (1978), PEREIRA (1996), os níveis de cloretos existentes na água do sistema de produção de vapor vão permanecer os mesmos ao menos que exista algum fator externo que altere esses níveis. Um dos fatores de contaminação por altos níveis de cloretos no sistema advém do fato de que, normalmente, 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.

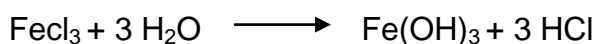
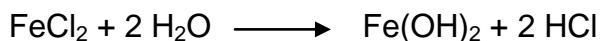
Por possuir altas concentrações de cloretos de magnésio (MgCl_2) e cloreto de cálcio (CaCl_2), a água do mar, quando contaminando o sistema de condensado, exposta as altas temperaturas dentro da caldeira, acaba por atacar as superfícies expostas dos tubos de ferro da caldeira onde não existe camada protetora 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:



3.5 CONDUTIVIDADE

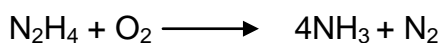
Segundo DREW PRODUTOS QUÍMICOS (1984), a água destilada possui alta resistividade elétrica, ou seja, não conduz facilmente corrente de eletricidade, porém a água possui contaminantes que aumentam a condutividade. A mensuração do ppm, de sais dissolvidos na água, através da condutividade, pode fornecer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

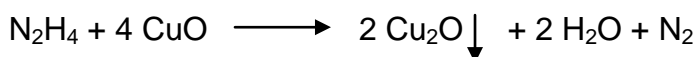
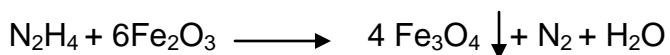
Para eliminar esse problema, deve-se neutralizar a solução a ser analisada usando, por exemplo, ácido acético e, então, se efetua a leitura no salinômetro, onde a presença de ácido hidrocloreídrico formado irá indicar proporcionalmente a presença dos sais na água do sistema.

3.6 HIDRAZINA E AMÔNIA

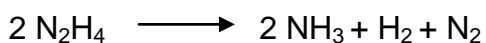
Segundo DREW PRODUTOS QUÍMICOS (1984), FLANAGAN (1978), BAPTISTA (1989), a hidrazina é um composto fortemente alcalino, que possui a principal finalidade de retirar oxigênio do sistema de água de alimentação da caldeira, principalmente as de altas pressões, por ser um seqüestrante químico, como segue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



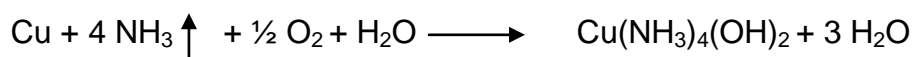
A hidrazina é benéfica ao sistema, pois diminui a corrosão de superfícies de cobre e ferro como se pode ver nas reações abaixo, onde são formados magnetita e óxido cuproso a partir de óxido férrico e óxido cúprico.



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 como se vê abaixo:



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.

3.7 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.

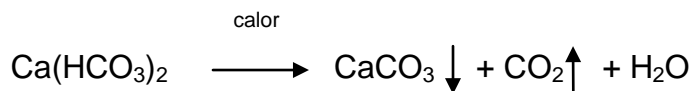
A pressão e o pH da água têm grande influência sobre o estado da sílica dentro do sistema de água para produção de vapor. Um pH elevado tende a manter a sílica na forma de silicato, o que diminui os problemas acima citados. Com relação à

pressão do sistema de produção de vapor, quanto mais elevada for a pressão, mais problemas a sílica trará ao sistema.

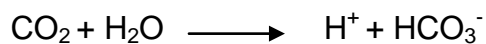
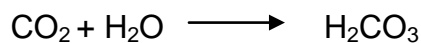
A sílica no sistema de água de alimentação da caldeira é controlada através de extração contínua, afim de que os níveis mantenham-se sempre em limites tolerados.

3.8 ALCALINIDADE

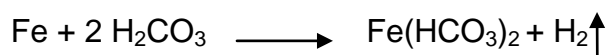
Segundo PEREIRA (1996), FLANAGAN (1978), a alcalinidade da água está diretamente relacionada à presença de elementos químicos como hidróxidos (OH^-), bicarbonatos (HCO_3^-) e carbonatos (CO_3^{2-}). Abaixo, podem-se ver reações nas quais se tem a formação de carbonato de cálcio a partir da decomposição de um carbonato ou bicarbonato e a formação de hidróxido de magnésio a partir da decomposição de um carbonato ou de um bicarbonato, respectivamente:



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 conseqüência, 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.

Figura 10: Incrustação em tubo de caldeira, ocasionada por hidróxido de sódio no lado do calor do tubo.



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

3.9 DUREZA

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.

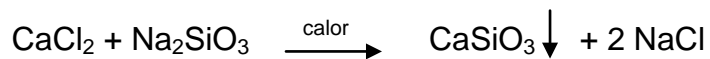
Dureza alcalina: que se refere aos sais de magnésio e cálcio que se decompõem rapidamente quando na presença de calor e formam lama;

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

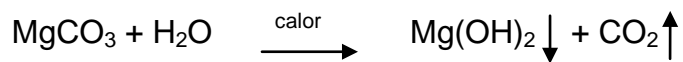
dureza à medida que as condições internas da caldeira se alteram, tais como pressão e temperatura.

Abaixo seguem reações que, em presença de calor, provocam incrustações:

Cloreto de cálcio e silicato de sódio formando depósito silicato de sódio e cloreto de sódio.



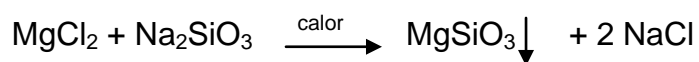
Carbonato de cálcio formando depósito de hidróxido de sódio e dióxido de carbono.



Bicarbonato de cálcio formando depósito de carbonato de cálcio, água e dióxido de carbono.



Cloreto de magnésio e silicato de sódio formando depósito silicato de magnésio e cloreto de sódio.



4 PROCEDIMENTOS PARA COLETA DE AMOSTRA DE CONDENSADO DE VAPOR

As análises da água de caldeira seguem uma lógica que vai desde a sua coleta, passando por sua análise e, por fim, se necessário, realiza-se o correto procedimento para restaurar os padrões exigidos pelo fabricante do equipamento, em acordo com o manual de operações do próprio fabricante, para que o sistema opere dentro da faixa normal de trabalho.

No início do processo para recolhimento da amostra que será analisada, abrem-se as válvulas do sistema condensador de vapor, no ponto de coleta de amostra de condensado, a fim de que todo vapor proveniente da linha de coleta de vapor, não entre no equipamento e o danifique.

Abrem-se as válvulas do sistema de coleta de condensado, normalmente localizada no topo da caldeira, e as demais válvula do sistema de coleta de vapor, se existirem.

Salienta-se que antes de coletar a(s) amostra(s) de condensado de vapor, deve-se deixar descartar os primeiros 15 a 20 minutos de condensado de vapor, para então coletar as amostras que serão analisadas. Este procedimento se deve ao fato de que poderão existir resíduos indesejáveis no interior da tubulação de coleta de vapor, os quais poderiam contribuir na alteração do resultado das análises.

Após a coleta das amostras, as válvulas do sistema de coleta de vapor são fechadas e, após um período de circulação da água de resfriamento no condensador, o sistema também é isolado.

As amostras recolhidas, a fim de que sejam analisadas, devem estar a uma temperatura, normalmente, de cerca de 25^oC. Se as amostras apresentarem coloração e/ou apresentarem-se turvas, filtram-se as amostras até que as mesmas não apresentem coloração ou aparência turva. Se o problema anterior persistir, utiliza-se o mesmo filtro, da primeira filtração, para fazer-se uma segunda filtragem, pois o mesmo possui a tendência de reter mais as partículas de impurezas, por já estar saturado.

Além das amostras de vapor, também deverão ser coletadas, amostras provenientes da água de alimentação da(s) caldeira(s), bem como do condensador de vapor do sistema.

As análises do sistema de água de caldeiras são realizadas no laboratório de bordo, normalmente, localizado na Praça de Máquinas. Nas amostras os parâmetros mais analisados são valor do pH, fosfatos, cloretos, amerzine, condutividade, sílica, alcalinidades total e parcial. No sistema de condensado, provindo do resfriador do sistema de vapor, analisam-se os níveis de pH e amônia. No sistema de água de alimentação da caldeira analisam-se a condutividade, a dureza e as alcalinidades total e parcial.

Na descrição dos métodos de análise dos parâmetros buscados, serão descritos os procedimentos de análise das amostras de água, em acordo com o manual de testes do fabricante - Drew Marine - dos produtos químicos escolhidos pela empresa, referentes à análise de amostras de condensado de vapor e água de alimentação da caldeira, porém, outros métodos de análise poderão ser utilizados, em conformidade com o fabricante dos produtos escolhidos pelas empresas.

Para realizar o teste de alcalinidade parcial, colocam-se 50 mililitros (ml) de água de análise resfriada num recipiente apropriado para a análise. Zera-se a escala existente em uma bureta de ácido sulfúrico N/50 existente para a análise. Adicionam-se quatro gotas de fenolftaleína à amostra, esta então passará a apresentar uma coloração rosada. Adicionam-se então gotas de ácido sulfúrico N/50 à amostra até que esta fique branca/transparente. Checa-se quantos mililitros de ácido foram utilizados e multiplica-se este valor por 20 (parâmetro de um dos fabricantes de produtos de análise para água de caldeiras). A análise final deve apresentar um valor aproximado a quatro partes por milhão (ppm). O correto valor de operação do sistema é atingido através de extração, normalmente, através de extração contínua, das caldeiras. Este teste, usualmente, deve ser realizado diariamente para as caldeiras e semanalmente para o sistema de água de alimentação das caldeiras.

Para realizar o teste de alcalinidade total, utiliza-se a amostra do teste de alcalinidade parcial, adicionando-se quatro gotas de indicador de alcalinidade total à amostra. Adicionam-se então gotas de ácido sulfúrico N/50 até quando a cor se alterar. Lê-se a quantidade de ácido utilizada e multiplica-se o valor em mililitros encontrado por 20 (parâmetro de um dos fabricantes de produtos de análise para água de caldeiras). A análise final deve apresentar um valor aproximado a oito partes por milhão (ppm). O correto valor de operação do sistema é atingido através de extração, normalmente, através de extração contínua das caldeiras. Este teste

deve ser realizado diariamente para as caldeiras e semanalmente para o sistema de água de alimentação das caldeiras.

Para realizar a análise de pH, utilizam-se atualmente aparelhos com esta finalidade. Coloca-se a amostra a ser analisada no recipiente apropriado para tal; mergulha-se um leitor de prova, previamente limpo com água destilada para isentá-lo de qualquer presença de sais, na solução a ser analisada; liga-se o leitor de pH; e faz-se a leitura do pH da amostra através do mostrador do aparelho. O pH da água da(s) caldeira(s) deve estar numa faixa que varia de 9,8 a 10,2 e, para a água do condensador do sistema de vapor, numa faixa que varia de 8,6 a 9,0, segundo o fabricante do produto químico, em acordo com os parâmetros básicos exigidos para uma água de caldeira. Para correta solução de problemas com os valores, utiliza-se extração de água das caldeiras, quando o pH estiver elevado, e, quando abaixo do valor estipulado, utilizam-se produtos químicos para elevar novamente os valores de pH. Este teste deve ser realizado diariamente.

Para realizar o teste de amerzine das amostras, utilizam-se 25 ml de água de amostra previamente resfriada. Coloca-se a amostra no recipiente especial do kit de teste de amerzine do fabricante. Insere-se uma ampola contendo uma solução inibidora de corrosão dentro da amostra, posicionada em um ressalto do recipiente especial de análise. Quebra-se então a ponta da ampola fazendo com que a água de amostra seja sugada para dentro da ampola até o nível indicado. Inverte-se a ampola várias vezes para que a solução seja bem misturada. Espera-se dez minutos para que a análise possa prosseguir, deixando então a solução em repouso até que possa ser analisada. Insere-se a ampola de amostragem dentro de um comparador especial, fornecido com o kit do fabricante, e, através de análise visual, compara-se a cor da ampola de amostragem com as cores previamente fornecidas pelo fabricante. Uma vez que se encontra a coloração coincidente, lê-se o resultado gravado no corpo de amostra de base do fabricante. Esse valor indica o nível de amerzine da amostra, o qual deve estar numa faixa de 0,03 a 0,10 ppm. Este teste deve ser realizado diariamente e para ajustar-se o valor adiciona-se produto químico (amerzine) para elevar o nível de amerzine no sistema. Não se toma nenhuma providência quando o nível de amerzine está alto, apenas espera-se que o valor de amerzine se reduza para os parâmetros corretos.

Para realizar o teste de cloretos, utilizam-se o kits de fabricantes escolhidos pela empresa. Adicionam-se 24 ml da água a ser analisada em um vidro de Herlem-

Meyer. Adicionam-se então seis gotas de indicador de mistura de cloretos fazendo com que a solução fique levemente azulada. Adiciona-se a solução ácido nítrico N/5 até que a solução fique amarela. Adiciona-se nitrato de mercúrio até que a solução fique púrpura. O número de gotas de nitrato de mercúrio utilizado indica a quantidade de ppm da solução, o qual deve ser no máximo dezesseis ppm. Se a solução apresentar um valor acima de dezesseis procede-se à extração de água de caldeiras, normalmente extração contínua. Esse teste deve ser realizado diariamente.

Para realizar o teste de condutividade das amostras, utilizam-se instrumentos capazes de medir a condutividade da amostra. Em um recipiente apropriado coloca-se a amostra a ser analisada de forma a cobrir o eletrodo de prova do aparelho leitor de condutividade. Adiciona-se uma gota de fenolftaleína tornando a solução levemente rosada. Adiciona-se ácido gálico à solução para neutralizá-la, fazendo com que a cor rosada desapareça. Utiliza-se então um eletrodo que efetua a análise da condutividade da amostra, de modo que, mergulha-se o leitor de prova dentro da amostra, este previamente lavado com água destilada para isentá-lo de qualquer contaminante. Liga-se o aparelho, espera-se que ele efetue a análise da condutividade da solução e, então, lê-se o resultado no mostrador do leitor.

Para realizar o teste de sílica, utilizam-se 15 ml de amostra da água colocadas em um recipiente especial fornecido com o kit de sílica do fabricante. Adicionam-se dez gotas do ativador de solução do kit do fabricante, mistura-se e esperam-se quatro minutos. Adicionam-se cinco gotas do neutralizador de solução fornecido com o kit pelo fabricante, mistura-se a solução e espera-se um minuto. Insere-se uma ampola para análise de sílica em um ressalto no fundo do recipiente, quebra-se a ponta da ampola permitindo que a solução penetre na ampola. Retira-se a ampola da solução e invertem-se os lados várias vezes, para que a solução dentro da ampola misture bem. São necessários dois minutos até que se possa analisar a solução na ampola. Coloca-se a amostra em um comparador de cores especial fornecido pelo fabricante. Quando se acham duas cores iguais, a da ampola e a da cor padrão, lê-se o resultado na marcação da cor padrão, sendo este o valor para o resultado do teste. O nível máximo de sílica aceitável no sistema é de 6ppm, sendo que um valor acima indica a necessidade de se realizar uma redução desse nível através de extração de água das caldeiras, normalmente uma extração contínua.

Para realizar o teste de fosfato, utilizam-se 25ml da água de amostra colocadas dentro de um recipiente especial, fornecido com o kit do fabricante. Imerge-se uma ampola contendo uma solução de análises para fosfato dentro do recipiente. Quebra-se a ponta da ampola permitindo que a amostra de água entre na ampola. Inverte-se a ampola várias vezes para misturar a solução. Deixa-se a solução repousar por cinco minutos. Utiliza-se um aparelho especial para realizar a leitura do nível de fosfato. Primeiramente utiliza-se uma ampola padrão para calibrar o sistema de leitura inserindo-a em um local apropriado no aparelho, e cobrindo-a da luz, liga-se o aparelho e pressiona-se zero. O aparelho é então calibrado. Retira-se a ampola padrão e insere-se a ampola de análise de amostra, cobrindo-a da luz, tão logo os cinco minutos tenham-se passado. Aperta-se ler e o aparelho realiza a leitura da amostra. O resultado é então apresentado no mostrador do aparelho, onde aparece o nível de ppm da amostra, o qual deve estar numa faixa de 16 a 25 ppm. Se o nível estiver abaixo do ideal, utiliza-se um produto químico específico (Adjunct B) para elevar o nível de fosfato até o ideal, se o nível estiver alto, espera-se que ele baixe. Este teste deve ser realizado diariamente.

Para se realizar o teste de amônia, são utilizados 35 ml de água de amostra colocados em um recipiente especial fornecido pelo fabricante do kit. Coloca-se uma ampola, contendo uma solução especial para análise do nível de amônia, dentro do recipiente contendo a água de amostra diretamente em um ressalto no fundo do recipiente. Quebra-se a ponta da ampola permitindo que a água de amostra penetre na ampola até o nível indicado. Retira-se a ampola de dentro do recipiente e inverte-se a mesma várias vezes a fim de misturar-se a solução. Deixa-se a solução em repouso por dez minutos e, após esse período de tempo, utiliza-se um comparador de cores especial fornecido no conjunto do kit, onde a cor, quando coincidir, mostra o nível indicado de amônia do sistema através de simples leitura do valor da cor padrão coincidente. O nível máximo de amônia no sistema deve ser de 0,5 ppm e o controle deste é realizado através de uma extração de água de caldeira, normalmente extração contínua. Esta análise deve ser realizada semanalmente.

Para se realizar o teste da dureza da amostra de água, utiliza-se um recipiente especial fornecido com o kit de teste do fabricante. Colocam-se 35 ml de amostra dentro do recipiente. Insere-se uma ampola contendo uma solução especial dentro dele, em um ressalto no fundo. Quebra-se a ponta da ampola permitindo que a amostra entre na ampola até o nível indicado na mesma. Inverte-se a ampola várias

vezes a fim de se misturar a solução. Espera-se trinta segundos para fazer a análise da amostra. Coloca-se a ampola contra um fundo branco, sendo que uma cor puramente azul da ampola indica menos de 0,1 ppm de dureza da água e uma cor amarela indica presença de dureza. Pode-se confirmar o teste realizando a análise com água destilada. Não existe nível máximo de dureza na água, mas é de boa prática que não se permita que o mesmo esteja alto no sistema. Para tanto, pode-se reduzir o nível da dureza através de extração da água das caldeiras, normalmente extração contínua.

Após terem sido analisados os diversos parâmetros exigidos para as caldeiras, para o sistema de água de alimentação das mesmas e para o condensador do sistema de vapor, lançam-se em planilhas os valores encontrados. Essas planilhas servem com base histórica para análise dos sistemas geradores e consumidores de vapor, onde pode-se verificar a evolução periódica dos parâmetros buscados e as ações tomadas para manutenção dos parâmetros exigidos para a água de caldeira.

Como finalidade didática estão apresentadas nas tabelas em anexo, os valores encontrados para os diversos parâmetros da água de caldeira, de bombordo e de boreste, de uma embarcação FPSO, onde podem-se verificar posições específicas para plotagem, segundo os dias do mês corrente, os parâmetros analisados em cada dia, tais como tempo de extração contínua de fundo, quantidades de cloretos, fosfatos, condutividade encontradas, o quanto de dosagem de produtos químicos foi adicionado para o tratamento de água do sistema.

Podemos observar que cada tabela gera um gráfico no qual é mostrada a evolução dos parâmetros analisados. Quando se analisa o gráfico de cloretos da água de caldeira de bombordo (Anexo 1), nota-se que nos dias 26, 27 e 28, houve uma grande variação dos valores, o que indica uma possível contaminação de água salgada no sistema de água da caldeira, sendo que uma das possíveis causas é devida ao vazamento de tubos no condensador principal do sistema de vapor. Esta contaminação acaba por alterar os outros parâmetros nos seus devidos gráficos.

Na tabela da caldeira de boreste (Anexo 2), podemos notar que nos dias 26 e 27 a caldeira foi parada, o que gerou um lapso nos gráficos apresentados, o que é plausível, pois não tendo sido analisada a água da caldeira, não houve inserção de dados.

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 verificam-se 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

A análise e tratamento de água de caldeira em sistemas produtores de vapor são de vital importância na manutenção do equipamento, a fim de fazê-lo operar sob as condições planejadas para o seu tempo de vida útil, de projeto, evitando a fadiga precoce dos materiais que compõem as caldeiras, assim como dos materiais que compõem os sistemas que utilizam o vapor como meio de realizar os mais diversos trabalhos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAPTISTA, A. J. A. **Condução e manutenção das caldeiras**: curso de Aperfeiçoamento para Oficial Superior de Máquinas. Rio de Janeiro: CIAGA, 1989.

DREW PRODUTOS QUÍMICOS. **Tratamento de água aplicado às caldeiras marítimas**. São Paulo: Drew Produtos Químicos S/A, 1984.

FLANAGAN, G. T. H. et al. **Marine Engineering series**: Feed systems and treatment. Londres: Stanford Maritime, 1978.

HESELTON, K. E. et al. **Boiler Operator's Handbook**. Nova York: Marcel Dekker, Inc, 2005

PEREIRA, C. A. A. et al. **Geração e distribuição de vapor**. Rio de Janeiro: DPC (FDEPM), 1996.

PORT, R. D. et al. **Nalco Chemical Company**: The Nalco Guide to Boiler Failure Analysis. Nova York: McGraw-Hill, Inc, 1991.

VANDAGRIFF, R. L. **Practical Guide to Industrial Boiler Systems**. Nova York: Marcel Dekker, Inc, 2001

ZEITZ, R. A. **Energy Efficiency Handbook**. Virgínia: Council of Industrial Boiler Owner (CIBO), nov. 1997.

ANEXOS

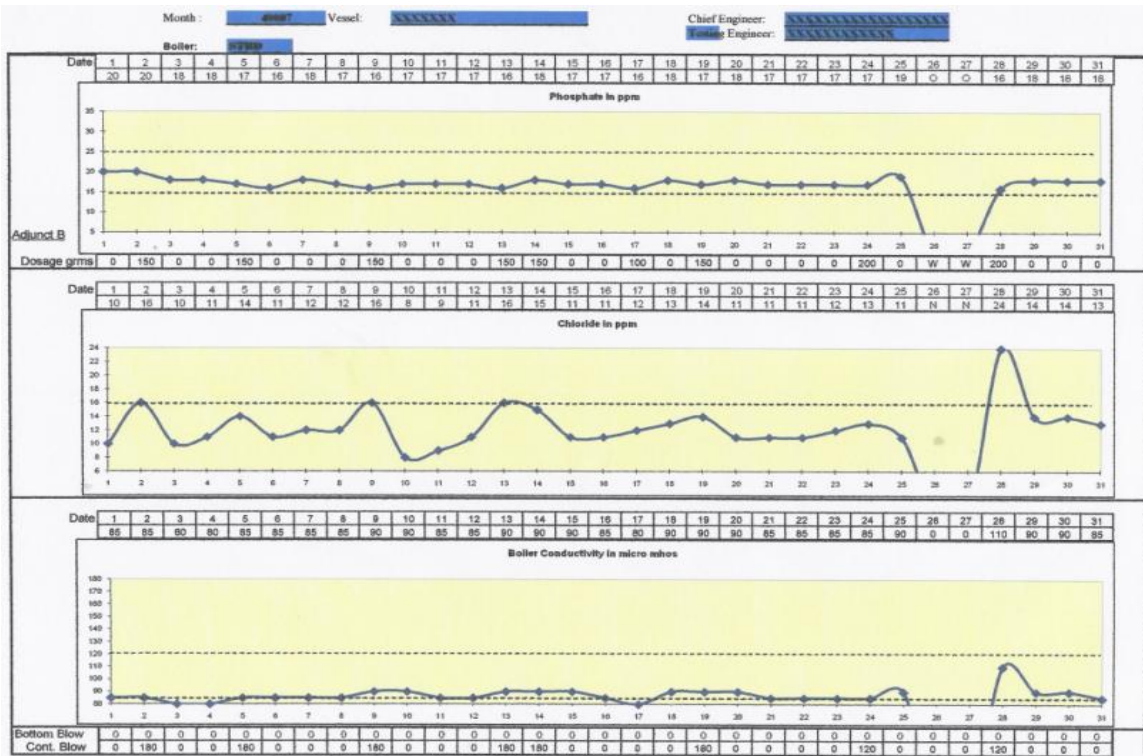
Anexo 1: Planilha e Gráficos da Caldeira de Boreste

Tabela 1: Parâmetros de acompanhamento da Caldeira de Boreste

CALDEIRA DE BORESTE		Unit: <u>XXXXXX</u>	Vessel: <u>XXXXXXXX</u>	Test Engineer: <u>XXXXXXXXXXXXXX</u>																												
Boiler Manufacturer: <u>FOSTER WHEELER</u>																																
Boiler Type: <u>DND</u>																																
Boiler Pressure: <u>60 BAR</u>																																
Signature: _____ (if not sent electronically)																																
Chief Engineer: <u>XXXXXXXXXXXXXX</u>																																
Signature: _____ (if not sent electronically)																																
Boiler	STRO																															
Dosage																																
Date	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th	8th	9th	10th	11th	12th	13th	14th	15th	16th	17th	18th	19th	20th	21st	22nd	23rd	24th	25th	26th	27th	28th	29th	30th	31st	
HYDRAZINE	0,26	0,24	0,24	0,24	0,04	0,04	0,04	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	
Amerazine Dosage	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	
Boiler Water pH	10,0	10,0	10,0	10,1	9,3	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	
Dosage (GC)	100			100				100				100				100			50					100							190	
Condensate pH	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	
Dosage (SLCC-A)	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	
Phosphate	20	20	18	18	17	16	18	17	16	17	17	17	17	16	18	17	16	18	17	16	18	17	16	17	17	17	17	17	17	17	17	
Dosage(A/Injct/B)	160				160							160						160														
Chloride	10	16	10	11	14	11	12	13	16	8	9	11	16	16	11	11	12	13	14	11	11	11	11	12	13	11	11	12	14	14	13	
Conductivity	85	85	80	80	85	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	85	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
Bottom Blow																																
Coastdown Blow	180				180								180	180										180							120	
Feedwater Conductivity	7	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
Silica (Boiler Water)	0,0																															
Boiler Water P. Alkalinity	10																															
Boiler Water T. Alkalinity	20																															
Feedwater Hardness	0																															
Condensate Ammonia	0,00																															
Steamload (%)	41	41	41	47	67	40	41	41	41	41	41	41	41	41	41	40	38	45	41	40	48	40	41	41	42	42	42	42	42	42	42	
Deaerator Pressure	31	28	30	26	28	31	29	30	28	31	30	30	26	31	31	31	31	31	31	31	31	28	31	31	30	31	31	31	31	31	31	31
Wtr Spaces Temp'	<input type="checkbox"/> F <input type="checkbox"/> C																															
Strn Space Temp'	<input type="checkbox"/> F <input type="checkbox"/> C																															
Comments:																																

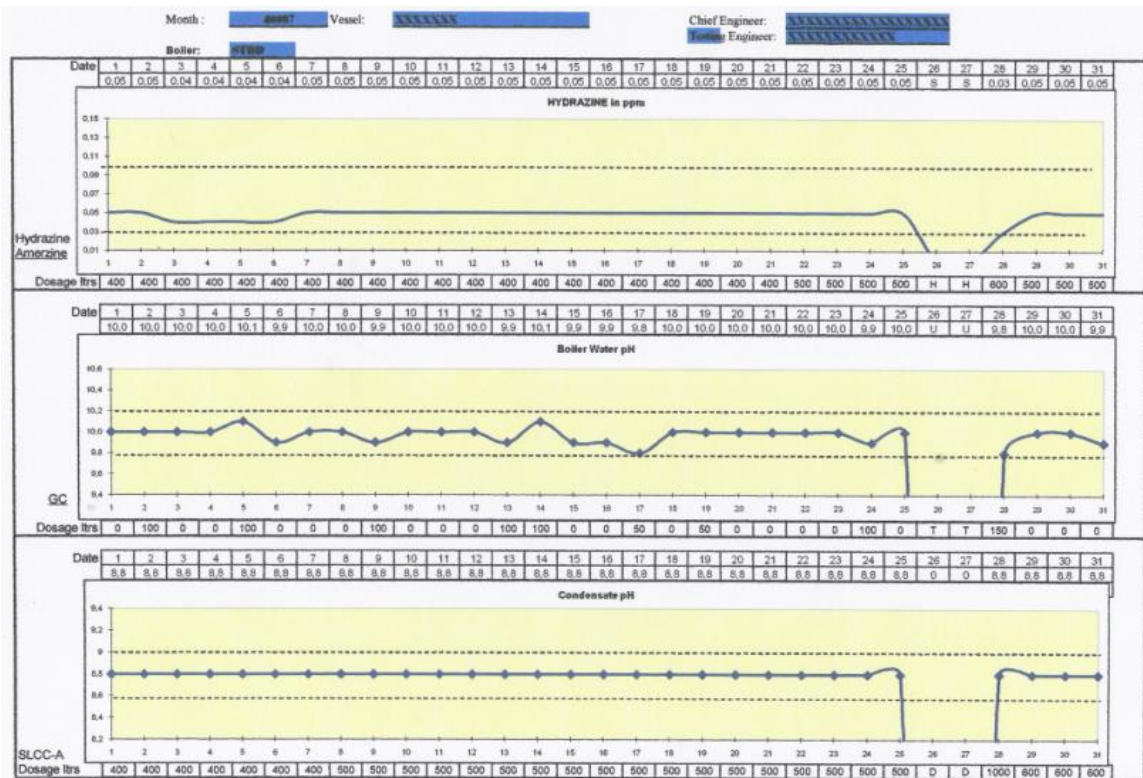
Fonte: ("O autor")

Gráfico 2: Gráfico de evolução dos parâmetros da Caldeira de Boreste



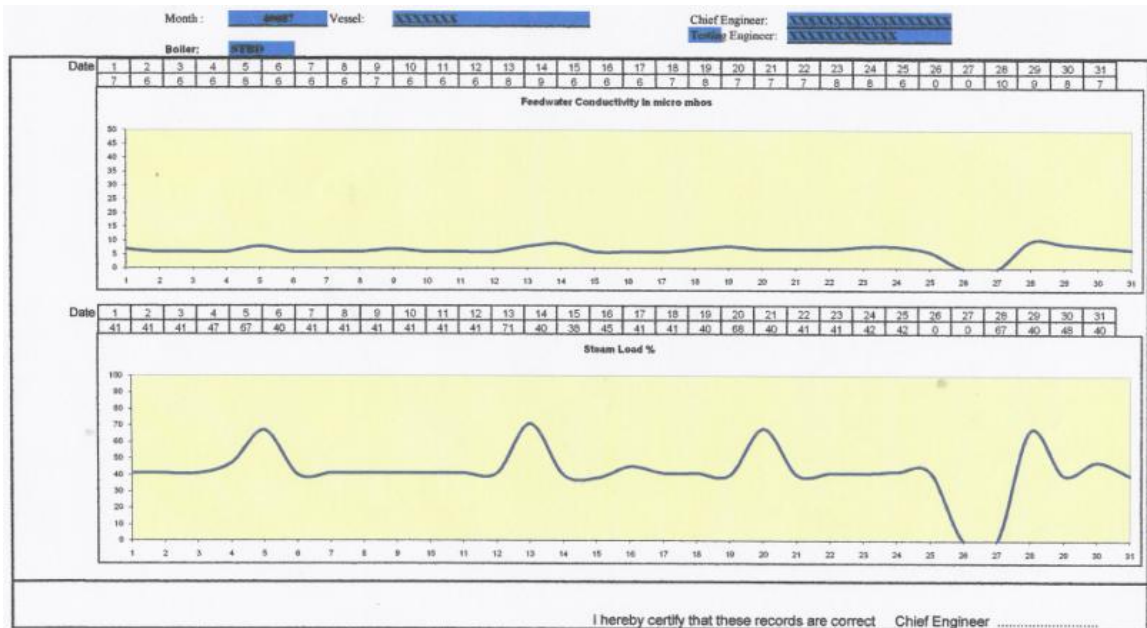
Fonte: ("O autor")

Gráfico 3: Gráfico de evolução dos parâmetros da Caldeira de Boreste



Fonte: ("O autor")

Gráfico 4: Gráfico de evolução dos parâmetros da Caldeira de Boreste



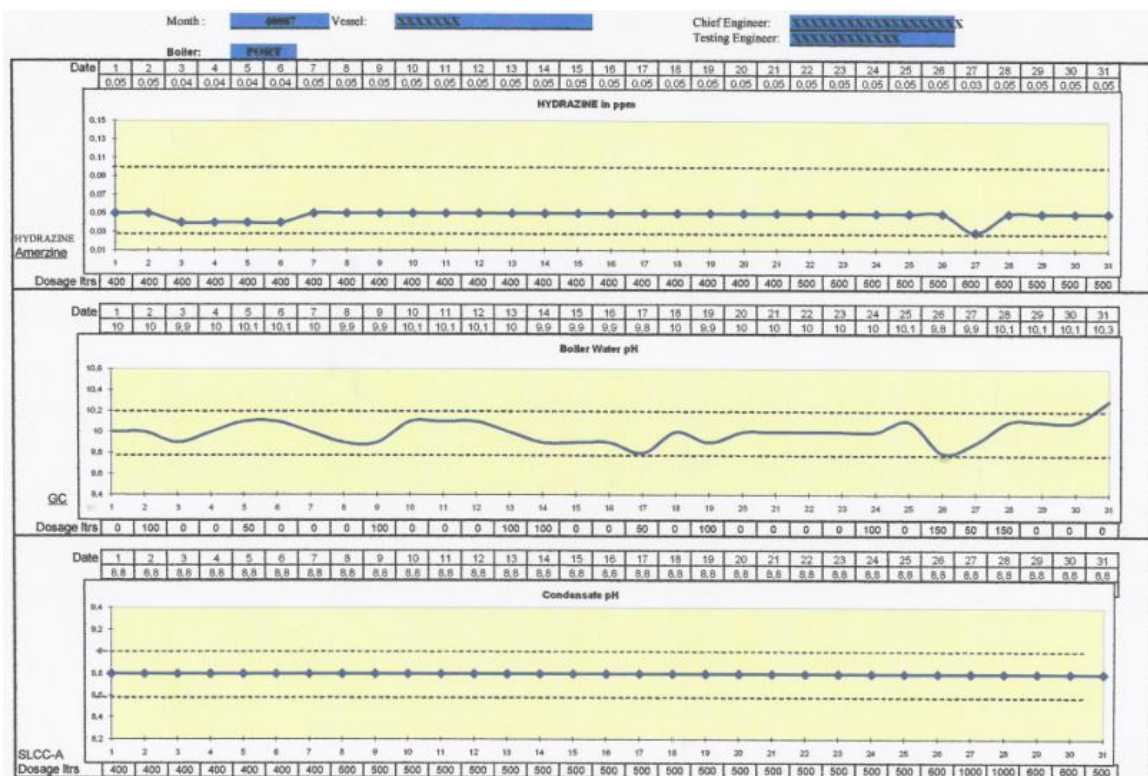
Fonte: ("O autor")

Gráfico 5: Gráfico de evolução dos parâmetros da Caldeira de Bombordo



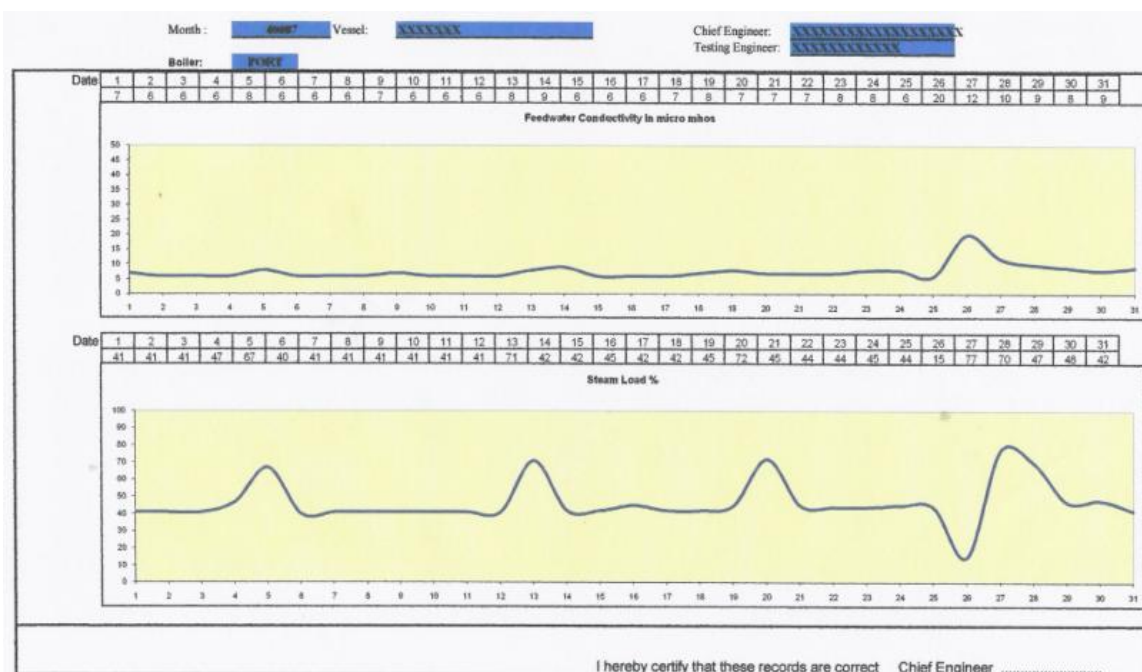
Fonte: ("O autor")

Gráfico 6: Gráfico de evolução dos parâmetros da Caldeira de Bombordo



Fonte: ("O autor")

Gráfico 7: Gráfico de evolução dos parâmetros da Caldeira de Bombordo



Fonte: ("O autor")