



CONTROLE QUÍMICO EM GERADORES DE VAPOR, PELO USO DE AGENTE INORGÂNICO ESTABILIZADO, COM GANHOS DE ENERGIA E CELERIDADE NA DETECÇÃO DE CONTAMINAÇÕES¹

Barny de Oliveira²
Renato André Nunes Pereira³

Resumo

O trabalho apresenta condições básicas de controle da relação fosfato e sódio em caldeiras de alta pressão, via aplicação de produto químico estabilizado, garantindo operação com baixos índices de variabilidade e ganho energético pela ausência de mecanismos de purgas corretivas. Estabelece também rotinas e benefícios advindos do monitoramento intensificado do processo de aplicação química de sais à base de fosfato em caldeiras de alta pressão, como elemento importante de detecção de desvios e controle de solubilização de sílica nesta classe de pressão.

Palavras-chave: Caldeira; Vapor; Fosfato coordenado; Turbina.

CHEMICAL CONTROL IN STEAM SYSTEMS BY USING A STABILIZED INORGANIC PRODUCT WITH GAIN OF ENERGY AND SPEED IN DETECTING CONTAMINATIONS

Abstract

This paper shows the basic conditions to control the relation between phosphate and sodium in high pressure boilers by applying a stabilized chemical product ensuring operation with low variability and energy gain by the eliminating of corrective blow-down. It presents the routine and the relevant benefits provided by a strong monitoring program of phosphate application in high pressure boilers as an important tool to detect deviations and to get better control of silica solubilization in this pressure level.

Key words: Boiler; Steam; Coordinated phosphate; Turbine.

¹ Contribuição técnica ao 31º Seminário de Balanços Energéticos Globais e Utilidades e 25º Encontro de Produtores e Consumidores de Gases Industriais, 17 a 20 de agosto de 2010, Foz do Iguaçu, PR

² Engenheiro de Produção – Representante da Kurita do Brasil

³ Técnico Químico – Representante da Kurita do Brasil



1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho aborda tecnologia de tratamento químico em unidades de geração de vapor denominada fosfato coordenado, indicando os respectivos monitoramentos e resultados efetivos com o controle da qualidade de água, resultando em ganhos operacionais pela ausência de problemas de deposição nas turbinas, favorecendo a geração estável de energia.

Permite também a estabilização das perdas líquidas, pelas baixas intervenções nas purgas, bem como ausência de descartes emergenciais, culminando em ganhos de energia e custos, além de agilidade na detecção de quaisquer anormalidades provenientes de fontes contaminantes exteriores às várias correntes dos processos. A produção de energia elétrica por turbinas a vapor é responsável por uma grande parte do suprimento mundial de energia, principalmente em países ricos em combustíveis fósseis, como carvão mineral.

Os geradores de vapor, ou caldeiras, como são mais comumente conhecidos, são equipamentos que são destinados a produzir vapor para alimentar uma turbina, que por sua vez é conectada a um gerador de energia elétrica.

Existem várias classificações para as caldeiras, abaixo segue a classificação de pressão conforme a ABNT.

Tabela 1 – Categorias de caldeira⁽¹⁾

Categoria	PressãoKgf/cm²
A	Maiores ou igual a 20
B	Entre 6,0 e 19,99
C	Menores que 5,99

A primeira turbina conectada a um dínamo foi capaz de gerar 7,5 kw de eletricidade e, em pouco tempo, o seu inventor, Sir Charles Parsons, presenciou o crescimento de sua invenção em todo o mundo, com o aumento de capacidade de produção em mais de 10 mil vezes se comparado ao primeiro equipamento.

Existem vários tipos de turbinas com o objetivo de atender às mais diferentes situações disponíveis em cada local. As turbinas podem ser classificadas conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Máquinas Térmicas I⁽²⁾

Turbinas Condensantes		Turbinas Não Condensantes
Fluxo direto	Extração Automática Única	Fluxo Direto
Baixa Pressão	Extração Automática Dupla	Extração não automática Única
Fluxo dividido na Descarga	Extração Automática Tripla	Extração Automática Única
Reaquecimento Único	Extração-Indução	Extração Automática Dupla
Reaquecimento Duplo	Extração não automática Única	
Indução		

As turbinas de condensação, onde a pressão de descarga é menor do que a pressão atmosférica, são as mais utilizadas para geração de energia.



Estas máquinas são colocadas entre condições de vapor de admissão (vapor de alta pressão) e de descarga (condensador), capazes de fornecer um grande salto de entalpia. Com isto, é possível conseguir potência necessária com uma vazão de vapor razoável.

A Figura 1 apresenta um fluxograma clássico da produção energia pela utilização de turbina a vapor.

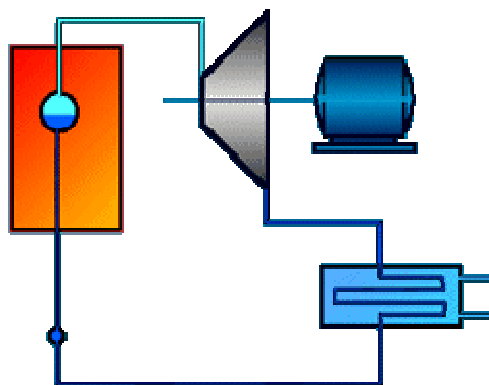


Figura 1 - Fluxograma típico turbina a vapor.⁽³⁾

O vapor entra pela turbina e faz girar as pás, cujo rotor gira juntamente com o eixo de um gerador que produz energia elétrica. O vapor utilizado, é denominado vapor superaquecido, isento de água, ou seja, com concentrações mínimas de sais, evitando assim, problemas de desbalanceamento na turbina, o que prejudicaria seu funcionamento.

A conexão de saída do vapor é ligada em condensadores de superfície, como são chamados os trocadores de calor casco e tubos utilizados para condensação de vapor, para produzir vácuo, que através do efeito Venturi consegue eliminar os gases não condensáveis.

A extração do condensado é feito pela parte inferior do condensador que direciona o fluido para um fosso contendo uma bomba, direcionando o fluido novamente para a caldeira.

A Figura 2 ilustra um condensador de superfície.

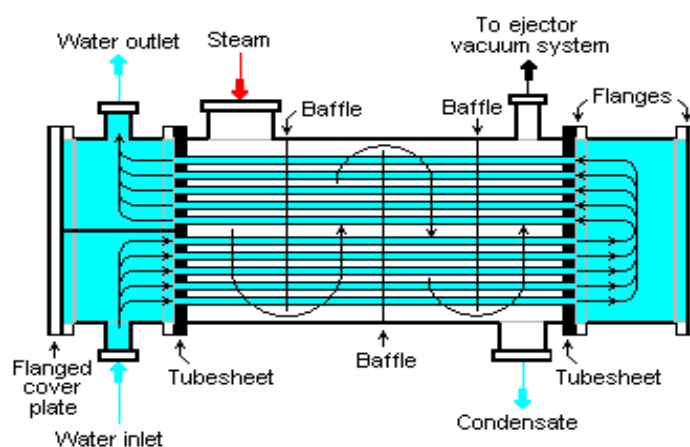


Figura 2 - Condensador de superfície.⁽⁴⁾



Considerando o princípio de funcionamento da turbina, bem como a qualidade do vapor requerido, torna-se extremamente importante o controle do tratamento químico das correntes de águas envolvidas nestes processos, a fim de assegurar as condições de ausência de arraste químico com conseqüente erradicação de problemas de deposição nas palhetas.

Abaixo segue um fluxograma detalhado do processo.

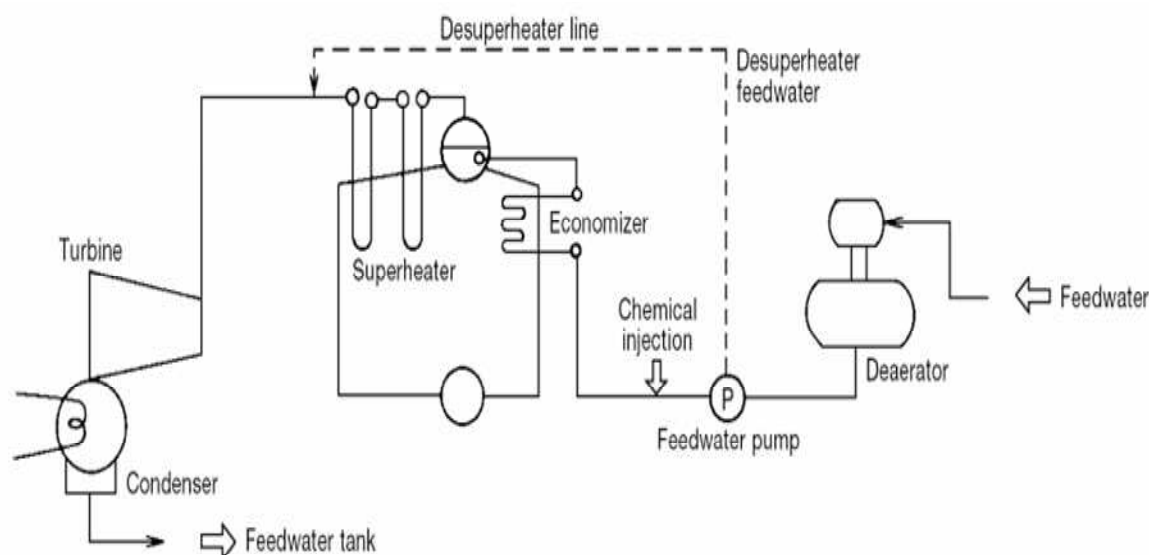


Figura 3: Fluxograma gerador de vapor e turbina.⁽⁵⁾

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Todo processo de geração de vapor, principalmente em se tratando de pressões elevadas, utilizam tratamento químico para condicionamento das diversas correntes, ou seja, da água dentro da caldeira, controle da qualidade do vapor e proteção das linhas de condensado.

Para o presente trabalho, a qualidade de água foi monitorada conforme condições da norma JIS B8223⁽⁶⁾ (*Japanese Industrial Standard*) tradicionalmente utilizada pela Kurita Water.

Existem vários tratamentos que podem ser utilizados para caldeiras. Normalmente, eles podem ser definidos em função da qualidade de água de alimentação, pressão operacional da caldeira e finalidade do vapor, observando-se que, a qualidade de água se torna mais rigorosa ou restritiva, com a elevação da pressão de operação.

O tratamento Fosfato Coordenado é recomendado para caldeiras que operam com classe de pressão entre 10 kgf/cm² e 200 kgf/cm², e tem como principal característica, a facilidade no controle da aplicação e dos resultados, bem como celeridade em detectar possíveis contaminações que possam ocorrer.

Este tratamento consiste basicamente na utilização de um produto com a relação Na:PO₄ determinada, garantindo uma correspondência do teor de fosfato analisado com o pH da água da caldeira. Desta forma para cada resultado de pH analisado, espera-se um valor correspondente para a concentração de fosfato, em face da correspondente estequiometria das formulações.

O gráfico abaixo estabelece as curvas típicas, com os resultados esperados para cada relação.

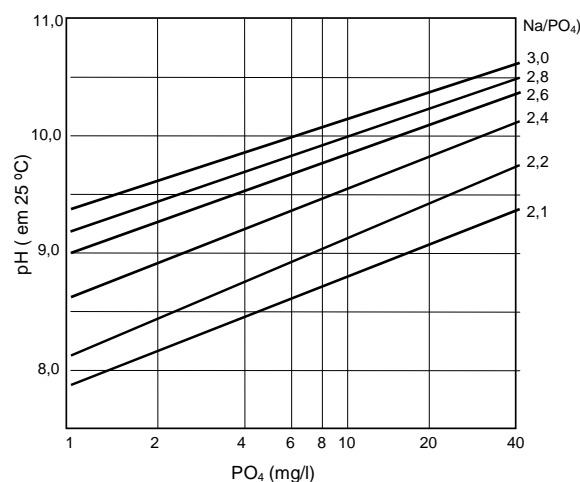
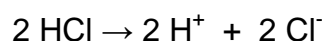
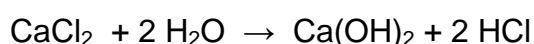
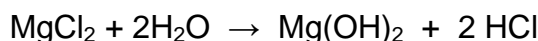


Figura 4 - Relação pH/Fosfato e Sódio/Fosfato⁽⁵⁾

Em função da classe de pressão e qualidade de água de alimentação, temos uma faixa de controle para a concentração de fosfato na água da caldeira e outra para controle de pH.

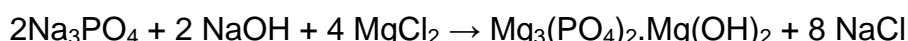
Manter esta relação estável significa estabilizar o processo de forma a impedir corrosão alcalina e fuga de sílica para a fase vapor, com eventual prejuízo da performance de geração por excesso de sílica ou depósitos nas palhetas das turbinas, no caso de geração de energia.

Quando ocorre, por exemplo, contaminação do condensado pela água de resfriamento do condensador, que contém principalmente Cloretos de Cálcio e Magnésio, há uma desestabilização das reações de formação de magnetita, em função das reações entre os íons OH^- , Fe^{2+} , Mg^{2+} e Cl^- , sendo que os produtos destas reações são os hidróxidos de magnésio e hidróxido cálcio que precipitam, ficando o ácido clorídrico e cloreto ferroso em solução conforme as reações abaixo:



Neste tipo de contaminação, o pH revela uma queda brusca que danifica a camada de magnetita formada no interior da caldeira tornando-a porosa, elevando a corrosividade no sistema. Ocorre simultaneamente uma geração intensa de lama, que pode causar ruptura dos tubos de água por fadiga térmica nas regiões de aquecimento no interior da fornalha, conhecidos normalmente por “Laranjas”.

O fosfato presente na água da caldeira também reage com os sais de cálcio e magnésio formando complexos solúveis conforme a reação a seguir:



Esta reação acontece com uma velocidade considerável, consumindo o residual de fosfato na água da caldeira.

Então uma queda brusca no pH, com ou sem alterações na concentração de fosfato, normalmente indicam, de forma indireta uma contaminação, via vazamento de água de resfriamento para a água de alimentação da caldeira.



Detectada a contaminação, devem ser adotadas medidas de controles cabíveis para sanar o problema e retomar a estabilidade.

As principais vantagens da adoção do tratamento Fosfato Coordenado, podem ser listadas abaixo:

- tratamento indicado pelas principais normas de padrão de qualidade de água de caldeira;^(6,7)
- aplicável para ampla faixa de pressão (10 a kgf/cm² a 200 kgf/cm²) em caldeiras aquatubulares;
- maior estabilidade em relação aos tratamentos volátil/oxigênio quanto a flutuações na qualidade de água de alimentação;
- tecnologia consolidada e de eficiência comprovada;
- além dos motivos já citados, a Kurita desenvolveu uma tecnologia de aplicação que permite utilizar os valores analíticos encontrados para detectar pequenas contaminações no sistema de vapor/condensado (que não são possíveis de detecção via análise do agente contaminante).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados são dados reais⁽⁸⁾ de geradores de vapor com pressão operacional superior a 60 kgf/cm² e produção de vapor superior a 140 t/h, que aplicavam tecnologia a base de fosfato dissódico e fosfato trissódico (Tratamento “A”) em produtos distintos, sendo o balanceamento realizado conforme necessidade das análises de fosfato e pH.

Ambos os tratamentos foram substituídos pela tecnologia de Fosfato Coordenado (Tratamento Kurita) pela utilização de produto único balanceado e estabilizado na relação de 2,8 (Na/PO₄), onde foi possível obter estabilidade da aplicação química e controles dos resultados analíticos.

Os gráficos abaixo indicam as condições de qualidade de água de alimentação das caldeiras com o Tratamento A e com o Tratamento Kurita.

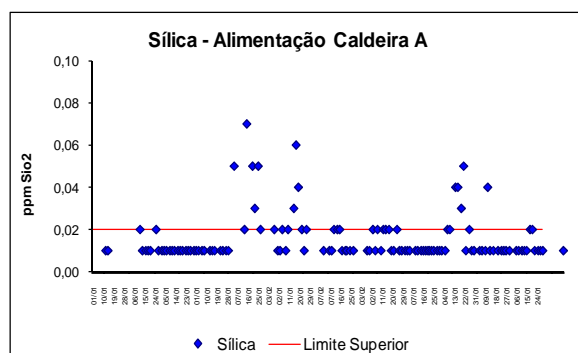


Figura 5– Sílica Alimentação – Tratamento “A”⁽⁸⁾

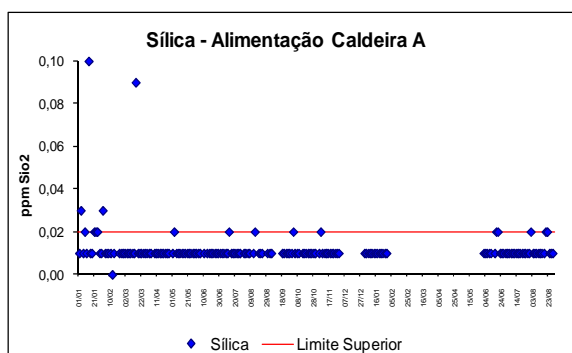
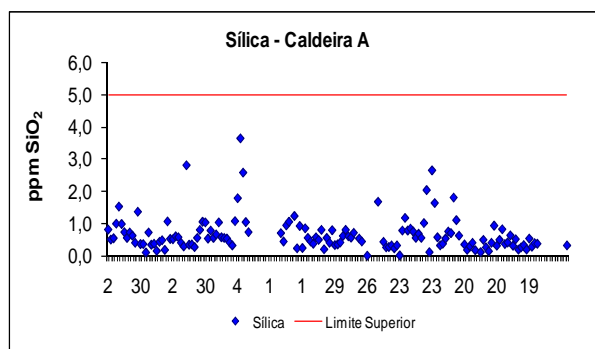
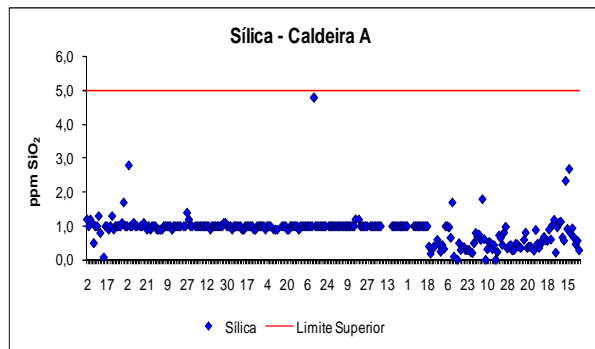


Figura 6 – Sílica Alimentação – Tratamento Kurita⁽⁸⁾

Para estabilização dos resultados na qualidade de água de alimentação foi realizado pela Kurita estudo das condições operacionais do desmineralizador, com recomendações de alterações que resultaram na adequação da qualidade de água de alimentação, com resultados estáveis da concentração de sílica.

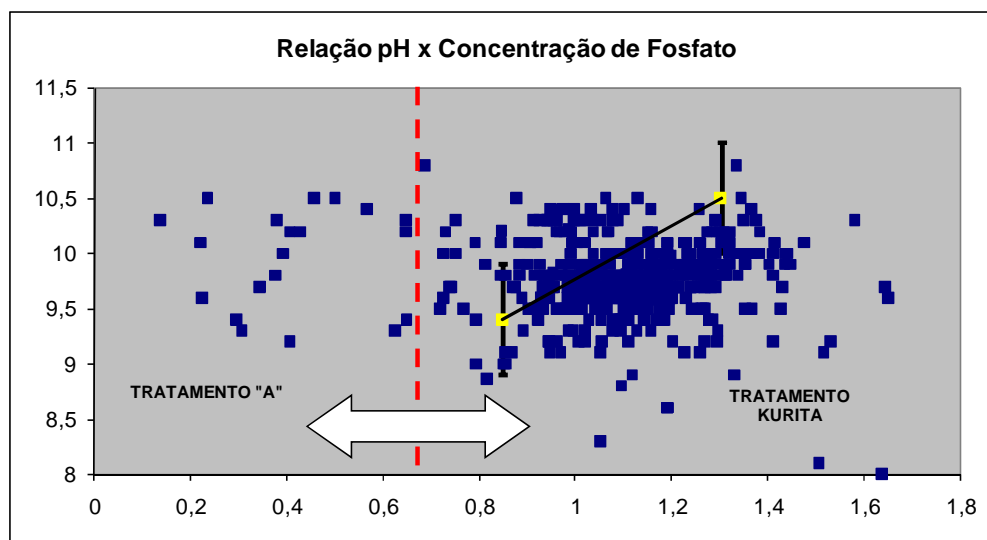
O comportamento da sílica na caldeira também foi alterado, para condição mais estável, mesmo com elevação do ciclo de concentração de 30 para 75 após alterações da qualidade de água de alimentação.

Figura 7 - Tratamento "A"(Ciclo 30)⁽⁸⁾Figura 8 - Tratamento Kurita (Ciclo 75)⁽⁸⁾

A instabilidade da sílica era provocada também pelas intervenções constantes na purga para adequação do pH e/ou fosfato, o que foi erradicado após aplicação da tecnologia com produto estabilizado.

Desta forma, a purga foi mantida estável, o que resultou em estabilidade operacional do gerador, bem como a aplicação racional dos produtos químicos foi alcançada, indicando redução de custos com aplicações químicas e consumo de energia pela elevação do ciclo de concentração.

O gráfico abaixo ilustra a relação pH x Fosfato em condições normais de aplicação, ou seja, ausência de contaminação, com o Tratamento "A" e após início com o Tratamento Kurita.

Figura 9 – pH x Fosfato – Tratamento "A" x Tratamento KURITA⁽⁸⁾

Os resultados, após aplicação de fosfato balanceado em produto único, ou seja, tecnologia Fosfato Coordenado com produto estabilizado, indicaram que as flutuações inerentes aos processos estavam menos intensas, ou seja, indicavam melhor correspondência entre os parâmetros rotineiramente monitorados. Daí ser viável aceitar que desvios importantes entre o pH e seu correspondente índice de fosfato aplicados denotariam processos de contaminação, tornando o monitoramento destas concentrações elementos de extrema importância para a segurança operacional, fato não admissível com a ausência do tratamento estabilizado.

Tal condição permitiu o controle da qualidade do vapor, bem como do condensado, resultando em ausência de deposição de sílica na turbina e também de corrosão na região da caldeira e linha de condensado.



A Tabela 3 apresenta a caracterização do depósito removido na tubulação superior da caldeira com o tratamento "A" em 2003 e com o tratamento Kurita em 2007.

Tabela 3 - Caracterização Depósito - Tratamento "A" x Tratamento Kurita.⁽⁸⁾

Nº Amostra		I28	J15
Tipo de Amostra		Incrustação	Incrustação
Local de Coleta		Tub. Superior	Tub. Superior
		Caldeira A	Caldeira A
ANO		2003	2007
Aparência		Incrust. Preta	Dep. Marron
CaO	(%)	10,3	8,0
MgO	(%)	0,9	< 0,5
Fe₂O₃	(%)	28,2	74,4
Al₂O₃	(%)	3,6	< 0,1
CuO	(%)	0,7	< 0,5
ZnO	(%)	0,5	< 0,5
Resíduo Ins. Ácido	(%)	16	< 2,0
SO₃	(%)	2,1	< 0,8
CO₂	(%)	20,5	< 0,5
P₂O₅	(%)	23,3	7,9
Perda Ignição	(%)	2,0	< 2

Podemos observar que após inclusão da tecnologia fosfato coordenado com agente inorgânico estabilizado, foi possível a redução drástica da deposição de sílica, com efetiva longevidade operacional pela eliminação das ocorrências inoportunas de desbalanceamento das turbinas por presença de depósitos silicosos em excesso. O controle da deposição de sílica na região da turbina pode ser observado nas imagens da Figura 10, com o Tratamento "A" e após adoção do Tratamento Kurita.

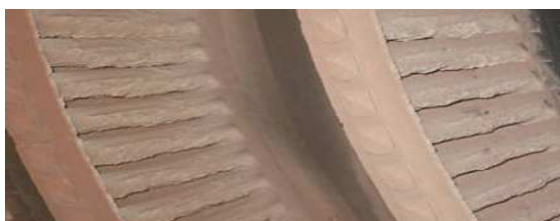


Figura 10 - Turbina Vapor - Tratamento "A"⁽⁸⁾



Figura 11 - Turbina Vapor - Tratamento Kurita⁽⁸⁾

A correspondente estabilidade do pH garante a menor solubilidade da sílica existente na água da caldeira, ou seja, pela via indireta do controle de pH se obtém segurança operacional em face da solubilidade da sílica ser minimizada, ocasionando minimização dos depósitos nos diferentes estágios das turbinas.



Como já abordado, outra vantagem da aplicação da tecnologia Fosfato Coordenado com agente inorgânico estabilizado, se deve a celeridade na identificação de contaminações na água de alimentação.

Como explicado, a contaminação com água de resfriamento, gera variações no pH e concentração na concentração de fosfato.

Desta forma, a aplicação de produto balanceado e estabilizado, permite confrontar os resultados de pH real com os resultados de pH teórico em função da concentração de fosfato.

Em condições normais, as curvas seguem próximas para os valores de pH real e teórico. Em casos de contaminações, estes resultados diferem substancialmente, evidenciando a ocorrência de fonte contaminante, sendo iniciado imediatamente procedimentos de identificação da origem da contaminação para tomada das ações de controle cabíveis.

O gráfico da Figura 12 apresenta uma condição de monitoramento, com evidência de contaminação.

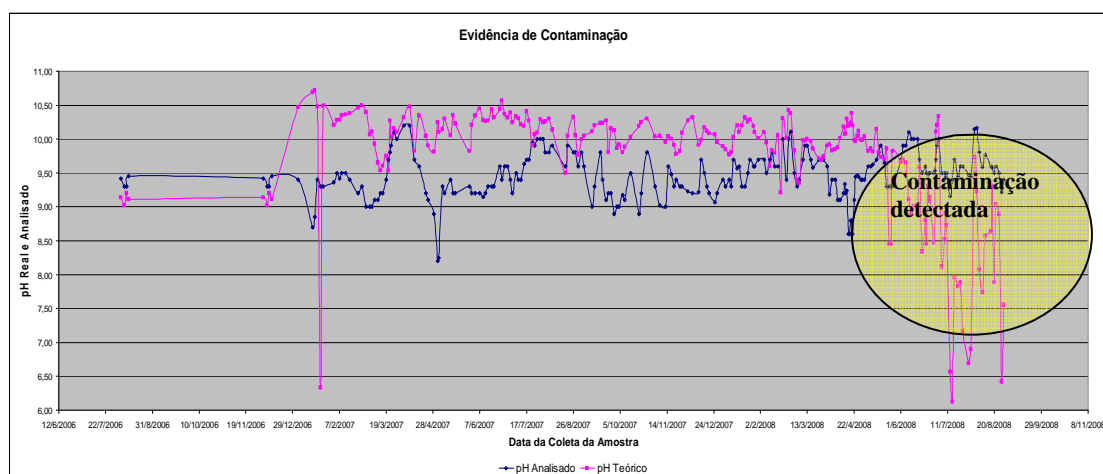


Figura 12 - Monitoramento pH Real x Teórico - Monitoramento indireto de contaminações⁽⁸⁾

No caso acima foi detectado furo no condensador de cobre, que foi imediatamente retirado de operação para reparos e investigações para ocorrência de furos.



Figura 13 - Identificação de Furo Condensador de Superfície⁽⁸⁾

Estas aplicações possibilitaram efetivos aumentos nos potenciais de geração, advindas do controle geral do processo de tratamento.



Ao longo dos anos de operação, foram alcançados os seguintes ganhos de produtividade geral em clientes KURITA que receberam esta tecnologia:

Tabela 4 - Ganhos Estimados em (US\$/Período)⁽⁸⁾

CLIENTE/Capacidade	AUMENTO DA GERAÇÃO PELA AUSÊNCIA DE DEPÓSITO NAS TURBINAS	GANHO ESTIMADO US\$/Período
Cliente A – Siderurgia 40 MW/h	720 horas/10 anos	≈ 3.500.000,00
Cliente B – Siderurgia – 20 MW/h	576 horas/6 anos	≈ 1.400.000,00
Cliente C – Agro Indústria – 10 MW/h	96 horas/3 anos	≈ 120.000,00
Cliente D – Petroquímica – 25 MW/h	432 horas/3anos	≈ 1.350.000,00

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O controle efetivo do tratamento conforme em caldeiras, está intimamente relacionado com as condições operacionais do equipamento e controle estabelecidos para a qualidade de água das várias correntes de processo.

Para utilização da tecnologia fosfato coordenado, e obtenção de resultados satisfatórios, é importante:

- possuir produto químico com formulação estabilizada, o que permite a direta identificação das fontes contaminantes e redução de riscos operacionais;
- conhecer a tecnologia e suas aplicações;
- monitoramento sistêmico da qualidade de água das diversas correntes;
- controle da produção de água desmineralizada; e
- adoção de medidas de controles efetivas em caso de anormalidades.

No campo do trabalho preventivo, que efetivamente é aquele que norteia as condições futuras dos equipamentos instalados, cuidados especiais devem ser tomados no que concerne a rotina de análises físico-químicas e monitoramentos.

A Kurita adota como referência a norma JIS B8223⁽⁶⁾, conforme mencionado anteriormente.

Desta forma, ações de rotina e focadas para a tecnologia do tratamento químico, permitem clareza no monitoramento dos tratamentos e das condições operacionais das unidades de geração de vapor, asseguram celeridade na detecção de contaminações, além de garantir produtividade contínua e estabilidade de processos, com seus respectivos ganhos econômicos.

REFERÊNCIAS

- 1 Macedo, Jorge Antônio Barros de. Águas & Águas. Ed. 2. Brasil 2004, pg 612.
- 2 Martinelli Junior; Luiz Carlos; Máquinas Térmicas I-Apostila UNIJUI, Campus Panambi, pg. 35.
- 3 Arquivo Técnico Kurita do Brasil
- 4 [http://en.wikipedia.org/wiki/shell and tube heat exchange](http://en.wikipedia.org/wiki/shell_and_tube_heat_exchange) > Acesso em 29 Abril de 2010.
- 5 Kurita handbook of water treatment. Ed.2. Japan:1999.501p.
- 6 Japanese Industrial Standard. JIS 8223-1989. Ed.5. Japan:1989.
- 7 ASME - American Society of Mechanical Engineers
- 8 Relatórios Técnicos Kurita do Brasil.