

UNIVERSIDADE DO SAGRADO CORAÇÃO

JOSÉ WILSON LONGATTO JUNIOR

**ABRANDAMENTO DE ÁGUAS DE CALDEIRAS COM
RESINAS DE TROCA IÔNICA**

BAURU
2014

JOSÉ WILSON LONGATTO JÚNIOR

**ABRANDAMENTO DE ÁGUAS DE CALDEIRAS COM
RESINAS DE TROCA IÔNICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências Exatas e Sociais Aplicadas da Universidade do Sagrado Coração, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química, sob a orientação do Prof. Dr. Herbert Duchatsch Johansen.

BAURU
2014

Longatto Júnior, José Wilson.

L8499a

Abrandamento de águas de caldeira com resinas de troca iônica
/ José Wilson Longatto Junior. — 2014.

25 f.

Orientador: Prof. Dr. Herbert Duchatsch Johansen.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em
Engenharia Química) – Universidade do Sagrado Coração –
Bauru – SP.

1. Caldeira. 2. Corrosão. 3. Água. 4. Troca Iônica. I. Johansen,
Herbert Duchatsch. II. Título.

JOSÉ WILSON LONGATTO JÚNIOR

**ABRANDAMENTO DE ÁGUAS DE CALDEIRAS COM RESINAS DE
TROCA IÔNICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências Exatas e Sociais Aplicadas da Universidade Sagrado Coração como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química sob orientação do Prof. Dr. Herbert Duchatsch Johansen.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Herbert Duchatsch Johansen
Universidade Sagrado Coração

Prof.^a MSc. Bárbara de Oliveira Tessarolli
Universidade Sagrado Coração

Prof.^a Esp. Raquel Teixeira Campos
Universidade Sagrado Coração

Bauru, 10 de novembro de 2014.

Dedico este trabalho especialmente
aos meus pais que tanto me incentivaram.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha mãe Aparecida que sempre me incentivou nos estudos e que nunca permitiu que eu desistisse de meus objetivos e ao meu pai que sempre me deu muita perseverança e paciência em todos esses anos.

Agradeço ao meu orientador, professor Herbert por todo conhecimento adquirido durante todo o curso e ao Grupo de Pesquisa em Eletroquímica e Corrosão da USC.

“O único lugar onde o sucesso vem antes do trabalho é no dicionário.”
Albert Einstein.

RESUMO

Considerando a crescente demanda energética e a busca por fontes alternativas de energia, o uso de caldeiras tem evoluído desde o início da década de 1990. Este crescente avanço na geração de vapor fez com que a tecnologia ficasse cada vez mais cara. Nos dias atuais, as empresas notaram que o tratamento necessita ser feito corretamente, a fim de reduzir gastos desnecessários com a corrosão, evidenciando-se assim a necessidade de pré-tratamentos da água de alimentação. Este trabalho tem como objetivo apresentar a importância do abrandamento de águas de caldeiras tendo como foco o setor sucroalcooleiro. Será apresentada a descrição de dois métodos de tratamentos de águas de caldeiras: por precipitação química e por resinas de troca iônica, apresentando e descrevendo suas principais diferenças e dados reais de análises de uma empresa sucroalcooleira da região de Bauru, SP.

Palavras-chave: Água. Caldeira. Corrosão. Resina. Troca iônica.

ABSTRACT

Considering the increasing energy demand and the search for alternative energy sources, the use of boilers has been evolving since the early 1990s. This growing advancement in steam generation made the technology even more expensive. Nowadays, companies noticed that the treatment needed to be done properly, in order to reduce unnecessary expenses to corrosion, thus pointing out the necessity of pre-treating the water supply. This work aims to present the importance of boiler water softening focusing on sugar and alcohol sector. This work presents the description of two methods of boiler water treatment: by chemical precipitation and ion-exchange resins, showing and describing their main differences and real data analysis of a sugar cane company in Bauru, SP. The treatment method for ion exchange resins proved to be the most efficient, reducing the concentration of ions in more than 99.50%.

Keywords: Boiler. Corrosion. Ion exchange. Resin. Water.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Resina Catiônica.	17
Figura 2 – Reação de abrandamento.....	17
Figura 3 – Reação de descarbonatação/ desmineralização.....	18
Figura 4 – Reação de remoção de ânions fortes.	18
Figura 5 – Planta de tratamento de água desmineralizada.	19
Figura 6 – pHmetro de bancada.....	20
Figura 7– Espectrofotômetro.....	21

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –Parâmetros de qualidade de águas de alimentação de caldeiras conforme pressão de peração.....	12
Tabela 2 – Principais problemas e causas envolvendo problemas na água de alimentação	15
Tabela 3 – Análises para verificação de rendimento de uma unidade de desmineralização de água, expressos em mg/L.	21

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS	13
3. DESENVOLVIMENTO	14
3.1 PROCESSOS CORROSIVOS.....	14
3.2 ABRANDAMENTO POR PRECIPITAÇÃO QUÍMICA	16
3.3 RESINAS DE TROCA IÔNICA	16
3.4.1 Medidor de pH (pHmetro)	20
3.4.2 Espectrofotômetro	20
3.5 ENSAIOS DE CONTROLE DE QUALIDADE QUÍMICO	21
4. CONCLUSÃO	23
REFERÊNCIAS	24

1. INTRODUÇÃO

Conforme define o Ministério do Trabalho e Emprego em sua Norma Regulamentadora NR-13 “caldeiras a vapor são equipamentos destinados a produzir e acumular vapor sob pressão superior à atmosférica, utilizando qualquer fonte de energia, projetados conforme códigos pertinentes, excetuando-se refervedores e similares” MTE (BRASIL, 2014, p. 4).

Rocco e Morabito (2012) afirma que a geração de vapor por caldeiras são importantes nas agroindústrias para o processamento da matéria-prima, concentração, pasteurização, coogeração de energia, entre outros. São utilizados diferentes tipos de combustíveis, tais como óleo combustível, carvão mineral ou vegetal, eletricidade ou biomassa. Dentre as formas de biomassa as principais estão o bagaço da cana-de-açúcar, cavacos de madeira, lenha e palha de arroz.

Segundo Filho (2012) as indústrias sucroalcooleiras evoluíram consideravelmente desde a década de 1990 até os dias atuais e uma das principais evoluções foram as caldeiras de alta pressão que visam coogerar energia para a venda e para o consumo da própria indústria. Antigamente produziam energia elétrica em pequena escala, ou seja, somente para manter a demanda energética de seu processo produtivo. Hoje, contudo, estas indústrias exportam grandes quantidades de energia, que pode inclusive levar o abastecimento energético de cidades inteiras.

Segundo a NR-13 para caldeiras que trabalham de forma contínua e que utilizam resíduos do processo produtivo para seu funcionamento, tal como o bagaço da cana-de-açúcar de uma indústria sucroalcooleira, ou de controle ambiental, podem ser classificadas como caldeiras especiais, seguindo contudo alguns requisitos mínimos, dentre eles o acompanhamento laboratorial e periódico da água que é utilizada em sua operação. (MTE, 2014)

A qualidade da água para utilização industrial, depende da finalidade a que se destina. Para a alimentação de caldeiras, impõe-se a escolha de uma água cujas características sejam compatíveis com as especificações do equipamento; para tanto, um dos requisitos necessários é o uso de uma água sempre de maior pureza, quanto maior for a pressão de trabalho de uma caldeira. (JUNIOR, 20—?, p. 81).

Conforme evidencia Junior (20—?) os contaminantes que são prejudiciais às águas de caldeiras são classificados em três tipos diferentes: (i) sólidos dissolvidos, como: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , sílicas (SiO_2) bicarbonatos (HCO_3^-), carbonatos (CO_3^{2-}), cloretos (Cl^-) e sulfatos (SO_4^{2-}). (ii) sólidos em suspensão, ao qual da origem a turbidez na água e (iii) gases dissolvidos na água, como o gás carbônico (CO_2) e oxigênio (O_2), devidamente apresentados na Tabela 1.

Tabela 1– Parâmetros de qualidade de águas de alimentação de caldeiras conforme pressão de operação

Pressão / kgf/cm ²	0 – 21	21 – 31	31 – 42	42 – 52	52 – 63	63 – 70	70 – 105	105 – 140
O ₂ dissolvido (antes da adição de sequestrante de oxigênio) / mg/L	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007
Ferro total / mg/L	≤ 0,1	≤ 0,05	≤ 0,03	≤ 0,025	≤ 0,02	≤ 0,015	≤ 0,01	≤ 0,01
Cobre total / mg/L	≤ 0,05	≤ 0,025	≤ 0,02	≤ 0,025	≤ 0,015	≤ 0,015	≤ 0,01	≤ 0,01
Dureza total / mg/L CaCO ₃	≤ 0,3	≤ 0,3	≤ 0,2	≤ 0,2	≤ 0,1	≤ 0,05	ND	ND
pH à 25°C	8,3 – 10	8,3 – 10	8,3 – 10	8,3 – 10	8,3 – 10	8,8–9,6	8,8 – 9,6	8,8 – 9,6
Óleo / mg/L	< 1	< 1	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,2	< 0,2	< 0,2

Fonte: (informação verbal).¹

Nota: adaptado pelo autor.

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 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. (JÚNIOR, 20—?, p. 85).

¹Informações fornecidas por uma empresa fabricante de caldeiras.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Apresentar a importância do abrandamento na alimentação da água de caldeira no setor sucroalcooleiro.

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

Mostrar o processo de abrandamento de água com maior eficiência para caldeiras.

3. DESENVOLVIMENTO

3.1 PROCESSOS CORROSIVOS

Johansen (2013) mostra que a deterioração de metais, perdas de suas propriedades e alterações industriais está associada à corrosão, em que um material, geralmente metálico, passa de sua forma mais instável para uma forma mais estável termodinamicamente.

Conforme Johansen (2013, p. 21) nos mostra, “as reações de corrosão são termodinamicamente espontâneas. Enquanto na obtenção dos materiais metálicos adiciona-se energia no processo, na corrosão observa-se o retorno espontâneo do metal a forma combinada com a consequente liberação de energia. Este ciclo é denominado de ciclo dos metais.”

Segundo Johansen (2013), a quantidade de material danificado pela corrosão que precisa ser repostos, incluindo empresas do setor sucroenergético, chega a 30% de todo aço produzido no mundo. Para tanto, vê-se tamanha necessidade de um acompanhamento criterioso nas análises laboratoriais de modo a corrigir falhas no processo ou em dosagens de produtos específicos.

A corrosão é uma forma de degradação do metal. É um processo que progride através do material até sua destruição total. Nessa etapa de compreensão, o primeiro passo é descobrir e investigar os tipos e formas de corrosão, desde o aspecto microscópico até sua exposição a olho nu. O conhecimento das características das diferentes formas de corrosão, facilita o encontro das técnicas necessárias e dos mecanismos de proteção do metal que sofre corrosão. Isso possibilita a análise necessária para a aplicação de medidas preventivas capazes de reduzir a valores desprezíveis a taxa de corrosão. (OLIVEIRA, 2012, p. 16).

No que se trata em tratamento de água de caldeira são levantados vários problemas com o não tratamento prévio da água de alimentação, conforme apresentado na Tabela 2.

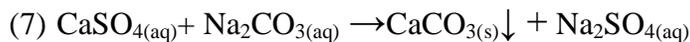
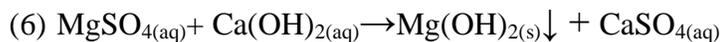
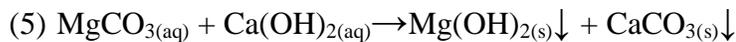
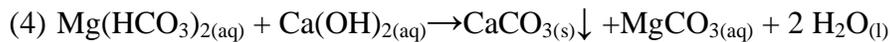
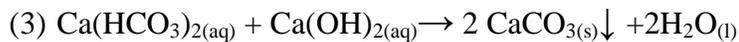
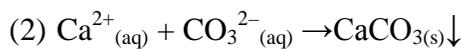
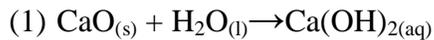
Tabela 2– Principais problemas e causas envolvendo problemas na água de alimentação

Problema	Problemas na operação do gerador de vapor	Causas
Formação de depósitos	Redução da eficiência da caldeira: queda na produção de vapor e aumento no consumo de combustível pela presença de depósitos;	Escape de dureza (cálcio/magnésio) e/ou sílica pelo abrandador/desmineralizador;
	Deformação e/ou rompimento dos tubos de evaporação pela presença excessiva de depósitos.	Controle inadequado da qualidade das águas de alimentação e da caldeira; Aplicação de um programa de tratamento químico inadequado.
Corrosão	Desgaste/deterioração das tubulações de água de alimentação, de condensado e da própria caldeira pela presença de oxigênio dissolvido e/ou gás carbônico;	Desaeração insuficiente da água de alimentação;
	Corrosão sob depósito devido à acumulação de óxidos metálicos e/ou hidróxidos nas superfícies de troca térmica.	Controle inadequado do pH da água da caldeira ou do condensado; Entrada de oxigênio na caldeira quando esta se encontra fora de operação.
Arraste	Redução da pureza de vapor;	Flutuação brusca da demanda de vapor na caldeira;
	Redução da eficiência de turbina (geração de energia elétrica) pela formação de depósitos de sílica;	Concentração excessiva de sais na água de caldeira;
	Deterioração da qualidade do produto final pelo contato direto com vapor.	Contaminação da água de alimentação com matéria orgânica.

Fonte: Carvalho, Antônio R.P., p. 1.

3.2 ABRANDAMENTO POR PRECIPITAÇÃO QUÍMICA

Este processo visa a retirada de íons Ca^{2+} e Mg^{2+} , pela adição de óxido de cálcio (CaO) e carbonato de sódio (Na_2CO_3). O óxido de cálcio é utilizado para elevar o pH da água fornecendo a alcalinidade necessária juntamente com o carbonato de sódio para a precipitação, conforme apresentado pelas seguintes reações:



Conforme Silva e Carvalho (20—?) têm-se como principais vantagens por este método a aplicação de águas com teores de dureza muito elevados e a possibilidade de remoção de dureza e também de remoção de metais pesados. Como desvantagens têm-se a utilização constante de produtos químicos; a constante produção de lodo que precisa ser destinado a lugares específicos para posterior tratamento e ajustes e dosagens de manutenção finais, pois com essa metodologia a dureza ainda possui cerca de 30 ppm de CaCO_3 .

3.3 RESINAS DE TROCA IÔNICA

Segundo Aquino (2009) as indústrias estão utilizando resinas de troca iônica com o objetivo de reduzir os resíduos líquidos gerados por processos químicos, não inviabilizando muitos dos métodos usualmente utilizados, e também fazer o reuso da água industrial. Muitos fatores estão ligados ao grande crescimento desta tecnologia como leis ambientais mais severas, limitações econômicas que foram geradas pela crise mundial, além do aumento da demanda em melhorar cada vez mais seu produto final.

Resinas de troca iônica são produtos sintéticos, que colocados na água, poderão liberar íons sódio ou hidrogênio (resinas catiônicas) ou hidroxila (resinas aniônicas) e captar desta mesma água, respectivamente, cátions e ânions, responsáveis por seu teor de sólidos dissolvidos, indesejáveis a muitos processos industriais. (KREMER, 2007, p. 1)

De acordo com Kramer (2007) as resinas de troca iônica são classificadas em quatro grupos básicos: catiônica fraca, catiônica forte, aniônica fraca e aniônica forte. A Figura 1 mostra uma resina catiônica, que é utilizada para remoção de íons cálcio, magnésio e sódio da água.

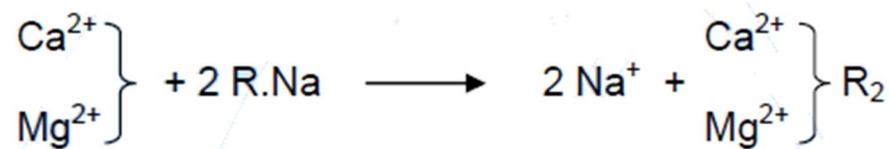
Figura 1– Resina Catiônica.



Fonte: Naturaltec, 2014, p. 1.

As Figuras 2 e 3 apresentam, respectivamente os mecanismos de abrandamento e de desmineralização da água realizado tipicamente por uma resina catiônica forte.

Figura 2– Reação de abrandamento.



Fonte: Kremer, Tatiana de Oliveira, 2007, p. 2.

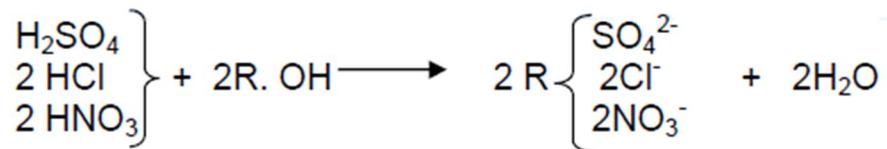
Figura 3– Reação de descarbonatação/desmineralização.



Fonte: Kremer, Tatiana de Oliveira, 2007, p. 2.

Resinas aniônicas fortes (Figura 4) são responsáveis por remover os ânions fortes tais como cloretos, sulfatos, nitratos, bicarbonatos e silicatos.

Figura 4– Reação de remoção de ânions fortes.



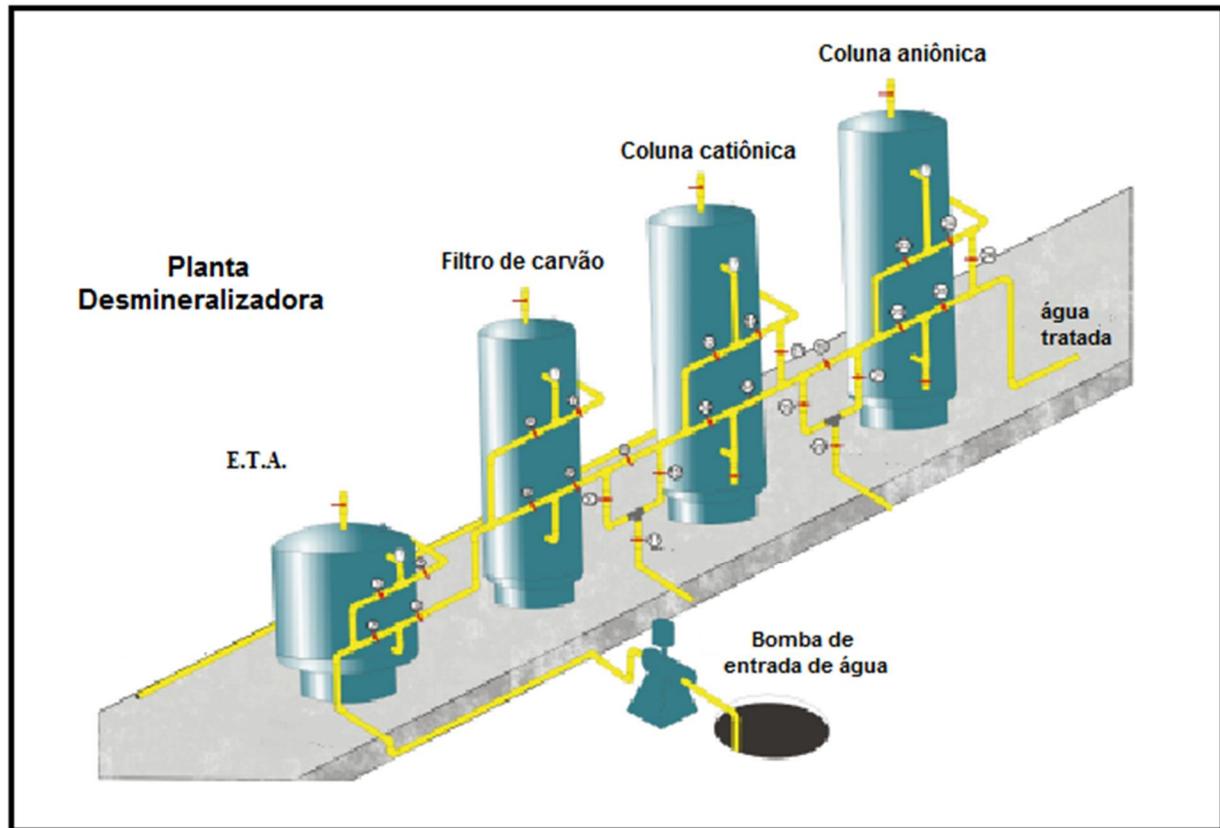
Fonte: Kremer, Tatiana de Oliveira, 2007, p. 3.

Resinas Aniônicas fracamente básicas conseguem remover somente os ânions fortes como sulfatos, cloretos e nitratos, não removendo ânions fracos como bicarbonatos e silicatos.

Segundo Silva; Carvalho (20—?) as principais vantagens em sistemas de troca iônica são: (i) alta eficiência na remoção de íons responsáveis pela dureza que chegam a atingir valores menores que 1 mg/L; (ii) as resinas podem ser regeneradas, podendo ser utilizadas novamente assim que atingem seu nível de saturação e (iii) não há formação de lodo no processo. Contudo possui algumas desvantagens: (i) requer um pré-tratamento da água; (ii) ocorre saturação da resina, exigindo sua regeneração e (iii) requer o tratamento do efluente da regeneração.

A Figura 5 apresenta o esquema de planta de tratamento de água desmineralizada.

Figura 5– Planta de tratamento de água desmineralizada.



Fonte: Adaptação de Júnior (2014) a partir de A.T.A., Dober (2014) p. 01.

Na figura 5, a estação de tratamento é dividida em seis etapas: (i) Entrada de água, também denominado de água bruta; (ii) estação de tratamento de água, esta etapa é utilizada para diminuir drasticamente a matéria orgânica no meio, ou seja reduzir a turbidez; (iii) filtro de carvão, é utilizado como adsorvente, ou seja, retirar impurezas que não puderam ser retiradas pela E.T.A.; (iv) e (v) Coluna catiônica e aniônica visam retirar, através de resinas de troca iônica, significativamente cátions e ânions; (vi) água tratada que está pronta para sua utilização industrial, principalmente em caldeira de alta pressão.

3.4 PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NAS ANÁLISES DE ÁGUAS

São utilizados para análises laboratoriais alguns equipamentos de precisão, que visam fornecer certos parâmetros essenciais.

3.4.1 Medidor de pH (pHmetro)

Responsável pela análise de Potencial Hidrogeniônico (pH), que visa medir a concentração de íons hidrônio (H_3O^+) em uma solução. Em geral, os pHmetros funcionam como potenciômetros, onde é feita a leitura de tensão em milivolts (mV) e convertidos em valores de pH, é utilizado soluções padrões previamente para calibrá-los. Na medição de pH é necessário atentar-se para a temperatura da amostra em questão e para gerar melhores parâmetros de controles é necessário determinar uma temperatura fixa de medição, normalmente aos 20°C . (Funasa, 2006). Na Figura 6 é apresentada a imagem de um pHmetro típico de bancada.

Figura 6–pHmetro de bancada



Fonte: Econolab, 2014, p. 1.

3.4.2 Espectrofotômetro

É um equipamento utilizado para determinar concentrações de uma infinidade de compostos, através da absorção e transmitância de luz visível, utilizam-se padrões para verificar qual comprimento de onda e fazer dados estatísticos da sua concentração. Entre as várias análises a serem feitas no tratamento de águas são Sílica, Cloreto, Dureza e Ferro.

Figura 7– Espectrofotômetro.



Fonte: Econolab, 2014, p. 1.

3.5 ENSAIOS DE CONTROLE DE QUALIDADE QUÍMICO

A água utilizada nas caldeiras na indústria sucroalcooleira da região de Bauru, SP provém do rio Tietê. Os resultados das análises físico-químicas são das médias dos dias realizadas durante o mês de outubro/2014. Este processo mostra-se muito mais eficiente pelo processo de troca iônica como evidencia a tabela 3.

Tabela 3– Análises para verificação de rendimento de uma unidade de desmineralização de água

	Rio Tietê	ETA	Água desmineralizada	Redução
pH	7,56	7,48	7,29	–
CaCO ₃ (dureza) /ppm	67,02	67,49	0,06	99,91%
Cl ⁻ (cloretos) /ppm	29,31	34,62	0,03	99,91%
Condutividade / μS/cm	367,1	400,59	0,79	99,80%
SiO ₂ (sílica) / ppm	3,16	3,41	0,017	99,50%
Fe ³⁺ e Fe ²⁺ (íons ferro total) / ppm	0,05	0,01	0,01	80,00%
Turbidez / NTU	7,43	0,81	0,45	93,94%

Fonte: (informação verbal) ²

Fonte: Adaptado pelo autor.

² Informações fornecidas por uma empresa do ramo sucroalcooleiro do estado de São Paulo.

A eficiência do método de desmineralização por meio de resinas de troca iônica é, como se pode observar na Tabela 3, muito alta, pois com os dados pode-se notar o decréscimo, levando em conta a água de entrada da Estação de Tratamento de Água (ETA) para colunas de troca iônica, dos principais dados utilizados para medir o processo.

“Num processo de desmineralização por resinas, para uma vazão de 100 m³/h, são produzidos, exatamente 100 m³/h de água, observando-se apenas que uma pequena quantidade desta água pura – da ordem 2 a 5% – poderá ser consumida posteriormente na regeneração das resinas. Portanto, o rendimento do processo de desmineralização por resinas pode ser considerado de 95% a 98% de água tratada.” Osmose Reversa ou Troca-iônica (2003, p. 1).

4. CONCLUSÃO

O setor energético vem sofrendo grande expansão em busca por energias renováveis, e para suprir esta demanda, novas tecnologias foram desenvolvidas como caldeiras de alta pressão, geradores e novos meios de tratamento de água.

Foram introduzidas no mercado de produção de energia caldeiras, cujas pressões de vapor chegam acima de 100 kgf, quanto maior a pressão do vapor, maior será sua energia cinética promovendo maior corrosão pela quantidade de íons presentes nesta água, portanto houve a necessidade de diminuí-los para evitar a corrosão;

No presente trabalho foram abordados dois diferentes métodos de abrandamento da água de alimentação: (i) O método por precipitação química, que se mostrou muito limitado no tratamento para caldeiras, uma vez que o máximo que ela consegue limitar são 30 mg/L de dureza e a não remoção de ânions. (ii) O método por resinas de troca iônica mostrou ser o mais eficiente, conseguindo reduzir a concentração de íons em uma proporção superior a 99,50 % e o aproveitamento da totalidade do volume de água produzida em relação ao volume de entrada. Porém, o uso de resinas de troca iônica tem como inconveniente a cada período a necessidade de se interromper a produção de água desmineralizada para que se regenere a coluna de troca iônica, para que esta volte a operar em condições normais.

REFERÊNCIAS

Aquino, Vicente de. A importância da resina de troca iônica seletiva no reuso industrial. **Meio Filtrante**, v. 40, n. 1, p. 1, 2009. Disponível em: < <http://www.meiofiltrante.com.br/materias.asp?action=detalhe&id=519> >

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. NR-13 Caldeiras, vasos de pressão e tubulações. Diário Oficial da União, Brasília, 02 de maio de 2014. Seção 1, p.72-77. Disponível em: <[http://portal.mte.gov.br/data/files/FF80808147596147014764A4E1D14497/NR-13%20\(Atualizada%202014\).pdf](http://portal.mte.gov.br/data/files/FF80808147596147014764A4E1D14497/NR-13%20(Atualizada%202014).pdf)>. Acesso em: 25 set. 2014.

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Corrosão e tratamento de superfície**. Belém. 2012. p. 16.

JOHANSEN, Herbert Duchatsch. **Proteção de corrosão de ligas de alumínio com recobrimentos à base de Cério e polímero condutor**. Tese (Doutorado em Físico-química e Eletroquímica) – Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

JUNIOR, Ary Franco. **Projeto e simulação de um sistema de controle via LMIs da produção de vapor de uma caldeira aquatubular**. 2012. 102 f. Dissertação (Mestre em engenharia elétrica) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2012.

JÚNIOR, Luiz Carlos Martinelli. **Geradores de vapor**. 20—?.141 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Área de ciência exatas e Engenharias, Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 20—?.

KREMER, Tatiana de Oliveira. Resinas de troca iônica. **Kurita do Brasil**, p. 1-3, 2007. Disponível em <http://www.kurita.com.br/adm/download/Resinas_de_Troca_Ionica.pdf>. Acesso em: 4 set. 2014.

Osiose Reversa ou Troca iônica. **Petro & Química**, v. 247, n. 4, p. 1, 2003. Disponível em: <http://petroequimica.com.br/edicoes/ed_247/ed_247a.html>. Acesso em: 26 nov. 2014.

ROCCO, C. D.; MORABITO, R. Um modelo de otimização para as operações de produção de vapor em caldeiras industriais. **Gestão de Produção**, São Carlos, v. 19, n. 2, p. 273-286, 2012.

SILVA, Diego de Oliveira; CARVALHO, Antônio R. P. Água Dura e Abrandamento. **Kurita do Brasil**, p. 1-2, 20—?. Disponível em: <http://www.kurita.com.br/adm/download/agua_dura_e_Abrandamento.pdf> acesso em 28 out. 2014.