



3rd INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION

“CLEANER PRODUCTION INITIATIVES AND CHALLENGES FOR A SUSTAINABLE WORLD”

Novas Tecnologias no Tratamento Terciário de Água Industrial

F. H. Harada ^a, F. P. Capeloza ^b, L. M. Scarpelini ^c

a. Eng. Químico e MSc pela EPUSP, Coordenador de Engenharia e Propostas da Siemens Water Technologies – Brasil, francohamilton@yahoo.com.br

b. Eng. Químico pela EPUSP, Engenheiro de Aplicação da Siemens Water Technologies – Brasil, fernando.capeloza@gmail.com

c. Eng. Química pelo DEQ-UFSCar, Engenheira de Aplicação da Siemens Water Technologies – Brasil, larissa.scarpelini@gmail.com

Resumo

A remoção de sais dissolvidos para águas de processo transformou-se em um requisito mais do que comum nos tempos atuais. Águas ultrapuras para as mais diversas aplicações, de caldeiras de alta pressão a fabricação de fármacos, de bebidas a componentes eletrônicos, a remoção de sais dissolvidos tornou-se um item primordial com qualidades de água e eficiências de tratamento cada vez mais rigorosas.

A fim de atender a demanda crescente por características mais restritivas de águas de processo novas tecnologias vêm sendo desenvolvidas, aliando-se maiores eficiências e menores custos operacionais.

Neste contexto através da aplicação das ferramentas de Produção Mais Limpa foi elaborada uma análise de mudança e incremento tecnológico no tratamento terciário de água industrial para remoção de sais dissolvidos comparando-se processos de troca iônica utilizando-se resinas catiônicas e aniônicas e, a osmose reversa seguida de uma das últimas tecnologias de tratamento, a eletrodeionização.

Para tanto, foram avaliados os custos capitais e operacionais de cada um dos processos de tratamento (considerando as mesmas condições de trabalho) visando a otimização do processo. Através destes custos calculados por volume de água tratada, pode-se observar vantagens claras do sistema osmose reversa e eletrodeionização.

Palavras-chave: *Produção Mais Limpa, Eletrodeionização, Troca Iônica, Desmineralização.*

1 Introdução

As águas de processo vêm paulatinamente requerendo características mais restritivas em certos setores produtivos. Os pontos de consumo exigem qualidades crescentemente superiores no decorrer dos anos e observando-se os processos empregados no tratamento terciário, praticamente, há mais de três décadas a tecnologia usualmente empregada é a troca iônica com resinas.

Buscando-se a redução na fonte e face a troca iônica, surgiram os processos de separação por membranas, o que levou a introdução de uma nova tecnologia para o tratamento terciário da água. Com o seu desenvolver tecnológico, os custos de

“CLEANER PRODUCTION INITIATIVES AND CHALLENGES FOR A SUSTAINABLE WORLD”

São Paulo – Brazil – May 18th-20nd - 2011

implantação reduziram consideravelmente, o que basicamente acarretou em sua consolidação como tecnologia alternativa para tratamento terciário da água, logicamente, com vantagens e desvantagens em sua aplicação.

No início de sua existência, os sistemas de osmose reversa operavam com sérios problemas em relação à vida útil das membranas e qualidade de permeado primordialmente causados por problemas de operação, manutenção de dimensionamento. Hoje em dia, o conhecimento sobre tais assuntos já é consolidado, reduzindo drasticamente tais problemas.

Em ambos os processos e com este incremento constante da eficiência de remoção de sais dissolvidos, veio então, a busca contínua por modificações no processo e otimização das práticas operacionais onde se atingisse um incremento processual.

Aumentou-se o grau de automatismo das plantas, foram empregados vasos de leitos mistos para realizar o polimento final da água de processo, tanto após trocadores catiônicos e aniônicos quanto em sistemas de osmose reversa, foram aprimorados os materiais das resinas e membranas, além de mudanças de projeto visando maiores eficiências de remoção de sais dissolvidos.

Dentre as mudanças de projeto, podem ser mencionadas as formas construtivas dos vasos de troca iônica, localização das válvulas do frontal dos vasos evitando pontos mortos na tubulação, pontos de amostragem para detecção de rompimentos de membranas, lavagens periódicas das membranas durante o próprio processo produtivo, entre outras alterações.

Outro ponto considerado foi a otimização das práticas operacionais a fim de alcançar este incremento de eficiência requerido. Dentre elas podem ser mencionadas o monitoramento do processo de regeneração das resinas com acompanhamento in loco de determinadas etapas da regeneração, a inspeção visual periódica do estado superficial das membranas e a verificação das dosagens de produtos químicos.

Posteriormente, com o maior grau de automatização das plantas e o monitoramento on-line dos processos, podem ser introduzidos mais parâmetros de controle, realizando o acompanhamento do tratamento de água a partir de gráficos de tendência para, por exemplo, previsão do ponto de saturação das resinas de troca iônica e do aumento da perda de carga nos bancos de osmose reversa.

Mas todas estas ações não foram suficientes para outro crescente problema: a concentração de matéria orgânica dissolvida e em suspensão presente na água de alimentação, mensurados como Carbono Orgânico Total – COT. A qualidade da água também teria como parâmetro de controle a concentração de COT.

A medida que a concentração de COT aumenta na água de alimentação, há consequências para os sistemas de troca iônica e osmose reversa. Como exemplos, pode-se mencionar a necessidade de se prever um maior volume de resinas aniônicas para o tratamento e uma maior tendência a formação de incrustação orgânica sobre a superfície das membranas de osmose reversa e, por conseguinte, a necessidade de limpezas químicas mais frequentes.

No entanto, visualizando a necessidade de remoção da matéria orgânica para os processos onde se utiliza água com alta pureza, os processos de troca iônica tornam-se pouco efetivos operacionalmente, sendo que para os sistemas de osmose reversa há a sua remoção.

Mesmo com todas estas melhorias contínuas dos processos de troca iônica e osmose reversa, a necessidade crescente de águas de processo com condutividades

menores que $0,1 \mu\text{S}/\text{cm}$, concentrações de sílica menores que 10 ppb e necessidade de remoção de matéria orgânica contribuíram para a busca por novas tecnologias que aliassem custos operacionais ainda menores.

Surgiu então o processo de eletrodeionização. É um processo que alia a troca iônica com resinas concomitante ao processo de separação por membranas, utilizando-se membranas seletivas com preferência aos íons presentes na água a ser tratada removendo a matéria orgânica presente.

Este sistema produz água de forma contínua e com eficiências de tratamento garantindo águas com condutividades menores que $0,1 \mu\text{S}/\text{cm}$, remoção de sílica e boro maiores que 95% e sódio e cloretos maiores que 99%. As taxas de recuperação podem atingir até 100% (retornando o rejeito do eletrodeionizador para a alimentação da osmose reverse, já que a sua qualidade é superior à água bruta).

O EDI (eletrodeionização) é um equipamento onde aplica-se uma corrente elétrica em placas dispostas ao longo do comprimento de cada módulo de forma a se ter uma placa carregada eletricamente na forma positiva atraindo os ânions e subsequentemente, uma placa de carga negativa atraindo os cátions, com as membranas seletivas aniônica e catiônica sempre alocadas de forma alternada.

As membranas seletivas em conjunto com as resinas de troca iônica auxiliam no transporte dos íons presentes na água para cada placa evitando a passagem dos mesmos para a corrente de água tratada. Trata-se de um processo que gera um fluxo contínuo de água tratada e rejeito.

Inicialmente, a utilização dos sistemas de eletrodeionização tinha abrangência de aplicação limitada a sistemas de baixa vazão (menor que $10 \text{ m}^3/\text{h}$). Com o avanço tecnológico, os custos de fabricação foram reduzidos, possibilitando que os módulos de EDI (especiais de alta vazão) sejam aplicados em projetos de desmineralização sem a limitação econômica para processos de alta vazão.

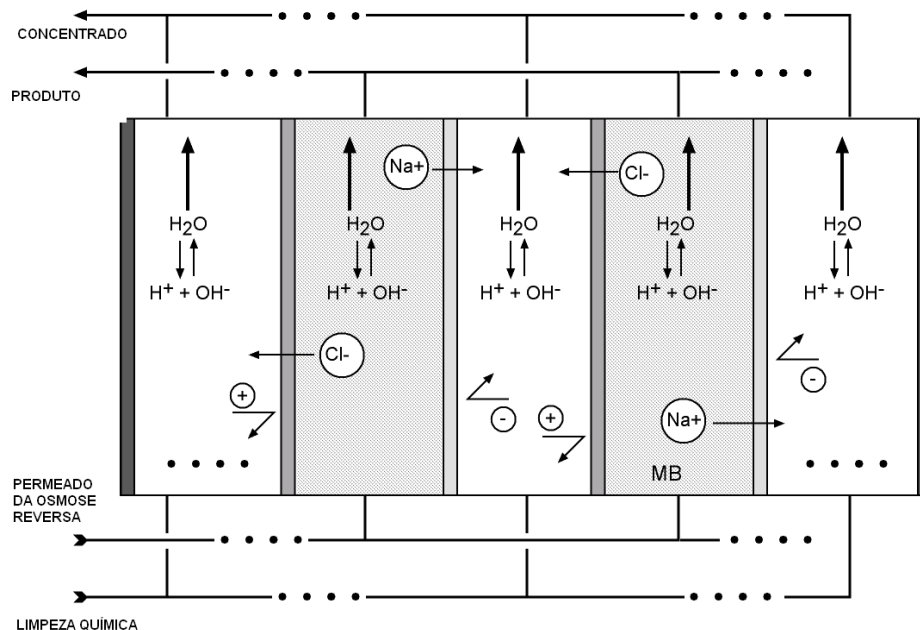


Fig.1. Esquema ilustrativo de um sistema EDI (IONPURE, 2011).

2 Metodologia

Primeiramente, foram selecionadas as condições de operação do sistema de desmineralização, como base de projeto, foi adotada a vazão de permeado de 100 m³/h. A qualidade da água de alimentação foi considerada como sendo uma água clarificada e filtrada, com uma condutividade de 200 uS/cm e concentração de sílica de 10 ppm, turbidez de 1 NTU e cloro livre de 0,8 ppm (condições recorrentes em águas superficiais brasileiras clarificadas e filtradas). Já a qualidade de água requerida na saída do sistema possui condutividade de 0,1 uS/cm, concentração de sílica de 20 ppb (condições típicas para alimentação de caldeiras de alta pressão)

Em seguida, foram calculados os custos de aquisição de cada tecnologia a ser comparada: sistemas de troca iônica (leito catiônico, leito aniônico e leito misto) e osmose reversa seguida da eletrodeionização. Para a tecnologia de troca iônica foram levantados os custos de fabricação dos vasos de troca iônica, aquisição de resinas, aquisição de válvulas, instrumentos – válvulas automáticas e transmissores de pressão, condutividade, medição de pH e sílica – além da tubulação e sistema de regeneração e neutralização dos efluentes provenientes do leito catiônico, do leito aniônico e do leito misto.

Já para o conjunto osmose reversa e sistema de eletrodeionização, foram calculados os custos de aquisição de vasos de pressão para as membranas, bem como as próprias membranas de osmose reversa, bomba de alta pressão, módulos de eletrodeionização de alta vazão, além da parte referente as estruturas para suportaçõ dos vasos de membranas e eletrodeionização, instrumentaçõ, válvulas, tubulaçõ, painel de potência e sistemas de limpeza química das membranas.

A partir do funcionamento de cada tecnologia de remoçõ de sais dissolvidos, foram levantados os produtos químicos utilizados seja na própria operaçõ ou em processos de regeneraçõ ou limpeza, as utilidades necessárias para o correto funcionamento do sistema, tais como água industrial, ar comprimido para instrumentaçõ, a energia elétrica dos principais consumidores (tais como bombas para alimentaçõ dos sistemas, sopradores para torres descarbonatadoras e para a regeneraçõ dos vasos de leitos mistos e bombas dosadoras) os custos relacionados a manutençõ preventiva e corretiva, os custos com o tratamento dos efluentes gerados a partir das regeneraçõs das resinas de troca iônica. Além disso, foram inclusos os custos referentes às peças de reposiçõ como resinas, membranas e módulos de eletrodeionizaçõ dentro do prazo recomendado pelos fabricantes.

Com os dados obtidos de custos capitais e custos operacionais para cada um dos sistemas, foi calculada a curva de custos versus tempo, considerando-se o valor presente da planta considerando 20 anos de operaçõ e 10% de depreciaçõ ao ano para ambas as tecnologias a fim de se analisar, se nas condiçõs empregadas, qual das tecnologias seria mais viável economicamente, e caso as curvas se encontrassem, qual seria o prazo em que uma planta se sobressai sobre a outra.

3 Resultados e Discussão

3.1. Custos das tecnologias

A comparaçõ dos custos dos sistemas de troca iônica e osmose reversa seguida de eletrodeionizaçõ são apresentados na Figura 1.

Para composiçõ destes custos, utilizou-se um sistema de geraçõ de água ultrapura com nível de qualidade intermediário. Os cálculos foram feitos na mesma

base, isto é, volume de água produzida de 100m³/h.

Os custos foram calculados com base nos custos iniciais de aquisição das duas tecnologias de desmineralização, adicionando-se anualmente seus custos operacionais e de manutenção, acrescidos da depreciação dos equipamentos.

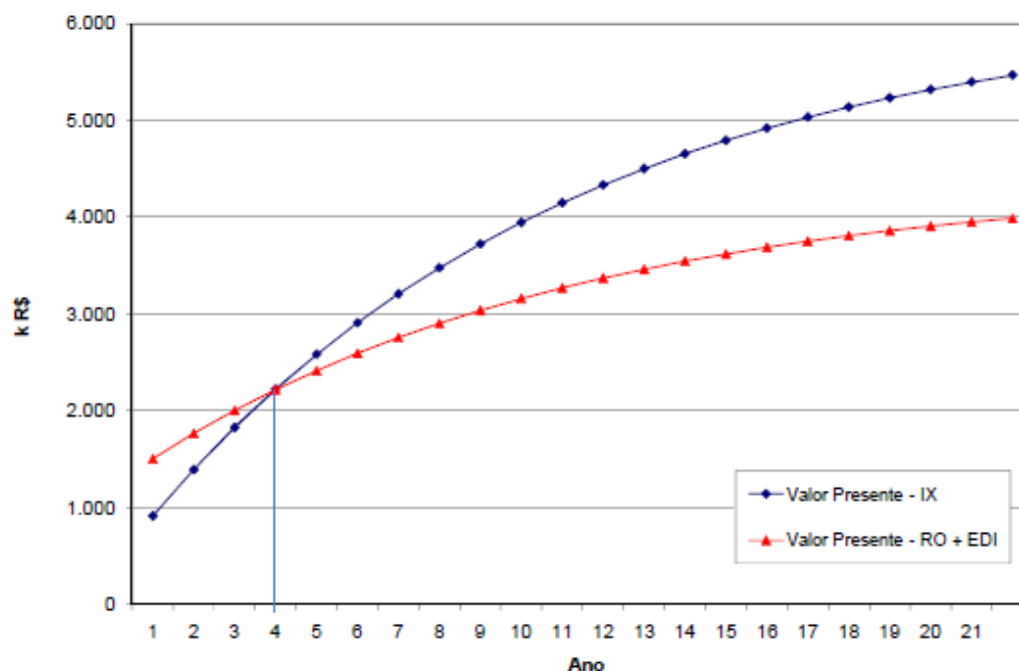


Fig.2. Comparativo de custos entre Sistema de Troca Iônica (IX) e Osmose Reversa e EDI (RO+EDI)

A Figura 1 mostra que o investimento inicial do sistema OR + EDI é 83% maior do que o de troca iônica. No entanto, a troca iônica tem custos operacionais 64% maior do que a osmose reversa e eletrodeionização.

Assim, ao final de 04 anos, o sistema de osmose reversa e eletrodeionização se demonstra um investimento mais vantajoso do que a troca iônica.

3.2. Benefícios operacionais

A utilização da osmose reversa e eletrodeionização foi considerada mais segura para os funcionários envolvidos em sua operação devido ao uso reduzido e menor manuseio de químicos na planta. A troca iônica necessita de sistemas de regeneração que empregam um ácido e uma base forte (H₂SO₄ e NaOH) que devem ser repostos com frequência semanal ou até diária. O sistema de osmose reversa e eletrodeionização, por sua vez, necessita de limpeza química apenas a cada 3 meses e o sistema de eletrodeionização a cada 6 meses. Com isto, o sistema por troca iônica requer maior atenção dos funcionários e maior disponibilidade de dispositivos de segurança em planta.

3.1.2. Características da água desmineralizada

A comparação entre a remoção de sais dissolvidos pelos processos de troca iônica com resinas catiônicas e aniônicas, e osmose reversa seguida de eletrodeionização demonstrou que a utilização de sistemas com membranas é mais adequada para utilização em água de alta condutividade.

A desmineralização por osmose reversa e eletrodeionização foi mais eficiente para a remoção de orgânicos. As membranas de osmose reversa possibilitam a remoção de partículas de até 0,001micron enquanto o sistema de eletrodeionização remove orgânicos remanescentes devido à presença de um campo elétrico que atrai partículas orgânicas carregadas. No entanto, para concentrações de TOC na água de entrada acima de 3,0 ppm (Dow Liquid Separatios, 2011), o sistema de osmose reversa se demonstrou inadequado, resultando em incrustações orgânicas e limpezas mais frequentes, requerendo uso de pré-tratamento específico.

A utilização de dosagem de bissulfito de sódio se demonstrou imprescindível para as duas tecnologias, devido ao efeito oxidante do cloro sobre as membranas de osmose reversa e resinas de troca iônica.

4 Conclusões

Para toda nova tecnologia é notório o maior grau de investimento inicial para sua aquisição. No entanto, fica demonstrado que quando se faz o comparativo com as tecnologias existentes e em utilização, a aplicação das ferramentas de P+L auxilia na tomada de decisão, onde pode-se chegar ao ponto da necessidade de mudança de tecnologia.

Os processos de osmose reversa seguidos da eletrodeionização requerem maiores investimentos iniciais, mas recuperam este investimento pelos custos operacionais menores quando comparados com sistemas de troca iônica utilizando-se leitos de resinas.

Através de uma operação muito mais econômica, segura e ambientalmente correta, fica demonstrado que o sistema osmose reversa em conjunto com o EDI é o salto tecnológico necessário para as águas atualmente requeridas em sistemas de alta pureza, tendo seu payback em 04 anos considerando um sistema de tratamento de 100 m³/h.

Atualmente, o desafio para a tecnologia da EDI, é o tratamento de águas com dureza, sílica, alcalinidade e condutividade elevadas. A transposição destes limites operacionais pode eliminar a necessidade do duplo passo do sistema de osmose reversa para alimentação do EDI.

Com base nesta tecnologia fica a melhoria contínua do projeto para num futuro próximo ser eliminado este entrave atingindo custos ainda mais competitivos dos módulos de EDI com uma maior capacidade de tratamento.

5 Referências

IONPURE, Electrodeionization. <http://www.ionpure.com/> acessado em Março/2011

Dow Liquid Separations 2006 Prevent of fouling by organics – Filmtec Membranes. http://msdsearch.dow.com/PublishedLiteratureDOWCOM/dh_0039/0901b803800390a5.pdf?filepath=liquidseps/pdfs/noreg/609-02038.pdf&fromPage=GetDoc acessado em março/ 2011