



# RECUPERAÇÃO DE ÁGUA RESIDUAL POR OSMOSE REVERSA PARA REPOSIÇÃO EM SISTEMA DE TROCADORES DE CALOR

L.C.O. CARETA<sup>1</sup>, BEGNINI<sup>2</sup>, M.L., LIMA<sup>3</sup>, E.A.P, J. R. D. FINZER<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Universidade de Uberaba, Departamento de Engenharia Química

*RESUMO – Tendo em vista os problemas relacionados à questão de recursos hídricos em todo o mundo, nos dias atuais tornou-se de fundamental importância economizar e fazer o uso racional deste recurso. Este artigo tem o objetivo de analisar o processo de recuperação de água residual do rejeito proveniente da aplicação de osmose reversa para reposição de água em torres de resfriamento. Trata-se de um sistema que reduz significativamente a quantidade total de resíduos sólidos dissolvidos na água, proporcionando o reuso da água, sem ocasionar problemas de incrustações e desperdícios de energia elétrica. O estudo baseou-se em dados adquiridos em um processo de produção. Antes da implantação do projeto era necessária uma descarga contínua (purga) diária de aproximadamente 7,81 m<sup>3</sup>/h para manter os parâmetros dentro do especificado. Após a implantação do projeto não foi mais necessário a realização de purga, devido à baixa concentração de sais dissolvidos na água utilizada para a reposição de água na torre de resfriamento.*

## 1. INTRODUÇÃO

A questão da gestão de recursos hídricos mobiliza a cada ano mais cientistas, organizações não governamentais e a sociedade civil organizada, explicitando a preocupação com a manutenção de um recurso que apesar de renovável tem sofrido diminuições sucessivas de sua qualidade diante do crescimento populacional e das atividades econômicas. Constitui, portanto, matéria de interesse internacional, transcendendo as barreiras entre os hemisférios Norte e Sul (CARETA, 2017).

Sendo a água um dos recursos naturais mais intensamente utilizados torna-se nítida a necessidade de administrá-la, garantindo seus requisitos de qualidade e uma oferta que atenda à demanda dos polos industriais, dos grandes centros urbanos, zonas de irrigação, bem como as necessidades metabólicas do homem e de outros seres vivos.

Este trabalho teve como objetivo geral analisar o processo de recuperação de água residual por osmose reversa para reposição em torres de resfriamento, acopladas com sistema de trocadores de calor.



## 2. OSMOSE REVERSA E TROCADORES DE CALOR

A Figura 1 mostra um dispositivo formado por membrana para purificar água com separação de impurezas.

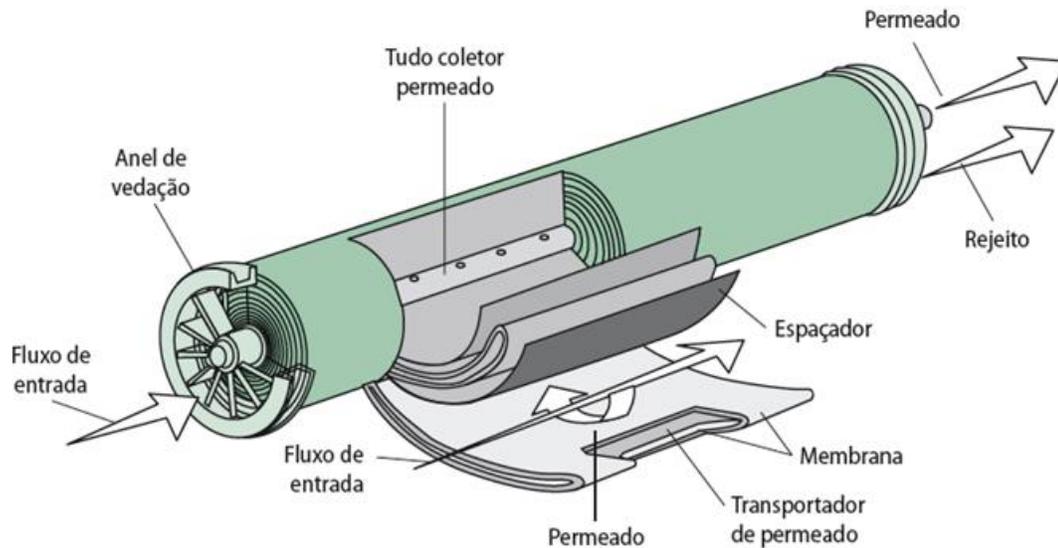


Figura1 – Unidade de membrana para purificação de fluidos (SILVA, SANTOS e DUARTE 2013).

A Figura 2 mostra esquema de trocador de calor casco-tubo, típico dos utilizados em indústrias em que são processados grandes vazões de fluidos, água de refrigeração de fluidos processados deve ser resfriada em torres de resfriamento e a água é reciclada.

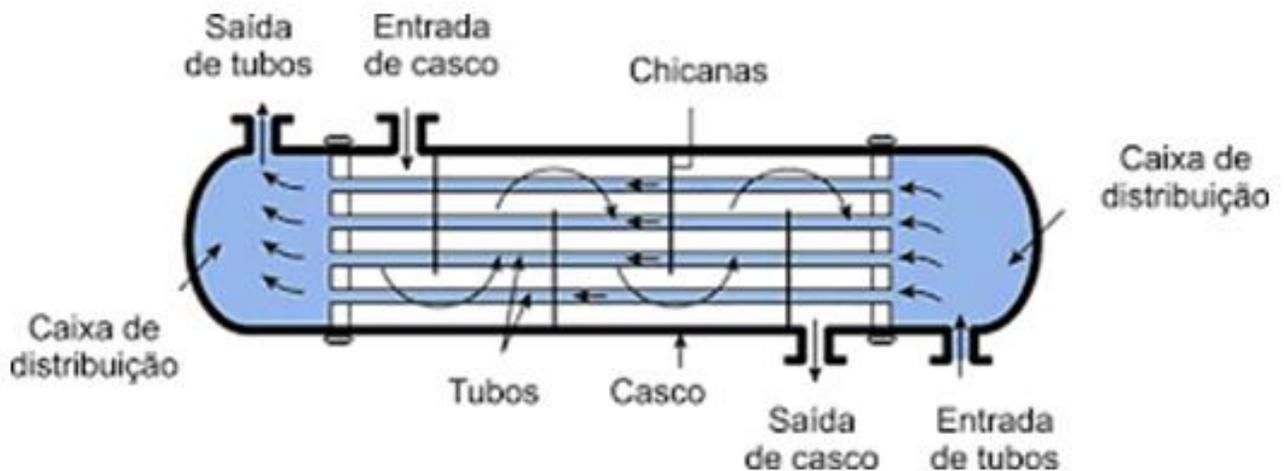
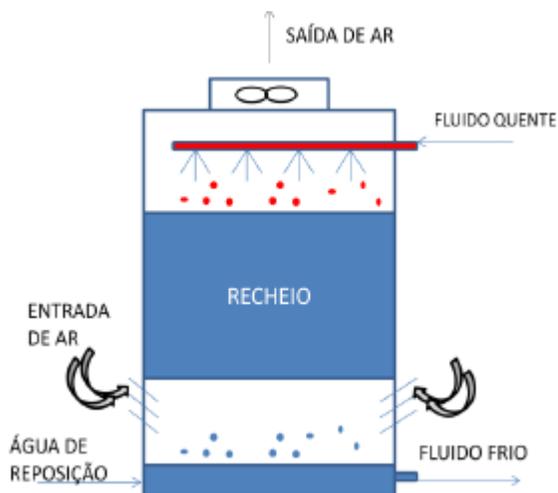


Figura 2 – Trocador de calor casco-tubo usado na troca de calor entre fluidos.



A água aquecida alimenta o topo de torres de resfriamento, Figura 3, e o contato com ar em escoamento, possibilita a diminuição da temperatura da água.



**Figura 3-** Esquema de uma torre de resfriamento de água (SILVA, 2010).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi realizado em empresa que processa grãos de soja, principal produtor no Brasil. Em maio de 2009, no estado de Mato Grosso foi inaugurada sua primeira unidade. No sistema de produção, torres de resfriamento de água são usadas para reutilização de água em trocadores de calor.

A indústria possui seis poços artesianos com vazão total de 64,2 m<sup>3</sup>/h aproximadamente, mas somente com 5 poços em funcionamento e um em descanso devido a outorga, podendo contar com uma vazão total para abastecimento da fábrica de aproximadamente 54 m<sup>3</sup>/h. O objetivo da fábrica que por sua vez é produzir vapor, ela necessita de uma quantidade de 45 m<sup>3</sup>/h de água sendo tratada por osmose reversa, para obter um permeado de 36 m<sup>3</sup>/h que será transformado em vapor e seu rejeito da osmose é de 9 m<sup>3</sup>/h. Como havia uma vazão total de 54 m<sup>3</sup>/h de água fornecida pelos poços e a fábrica utilizava 45 m<sup>3</sup>/h sobrava uma vazão de 9 m<sup>3</sup>/h de água de poço para completar a demanda da torre de resfriamento, ou seja não dispunha de água o suficiente para repor a quantidade necessária uma vez que sua necessidade era de 24,75 m<sup>3</sup>/h, para reposição de arraste com ar, evaporação e purga. A Figura 4 consiste em um fluxograma do sistema.

Sistema experimental: membrana para osmose reversa Neste estudo, as membranas de osmose reversa foram originalmente desenvolvido para aplicação em água salobra, utilizando o modelo MWB840 (Mann + Hummel).



As especificações das membranas são: i) tipo: composto de filme fino; ii) material: poliamida (PA); iii) configuração do elemento: espiral; iv) área efetiva de 37,2 m<sup>2</sup>; v) vazão máxima do permeado de 39,7 m<sup>3</sup> /dia (quantificada em teste de bancada para processamento de solução salina a 2.000 mg / L); vi) pressão aplicada de 1,5 MPa.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A demanda por água de reposição para a torre de resfriamento de 24,75 m<sup>3</sup>/h, consiste em: purga, B (7,81m<sup>3</sup>/h), evaporação, E (15,048 m<sup>3</sup>/h) e arraste de gotas, W<sub>c</sub> (1,9 m<sup>3</sup>/h), com circulação de água de 1.900 m<sup>3</sup>/h, sendo: x<sub>c</sub> a concentração limite de sílica na água e x<sub>M</sub> o valor na corrente aquosa. A purga é necessária a fim de manter concentração de sílica na faixa de operação, menor que 150 ppm.

O método de pesquisa foi elaborado com base nos dados obtidos das análises químicas da água obtida dos poços artesianos, da água de rejeito da osmose reversa e da água da bacia da torre de resfriamento, levando em consideração a preocupação com a sílica, devido ao seu alto poder de incrustação. Por meio dos resultados obtidos, verificou-se que a água de rejeito da osmose reversa deveria passar por um tratamento antes de ser utilizada para abastecer a torre de resfriamento da fábrica, sendo assim foi implantado um terceiro estágio de osmose, como a melhor opção para melhorar a qualidade da água que apresentava um alto teor de sólidos totais dissolvidos. A Tabela 1 mostra dados operacionais obtidos com a análise das correntes.

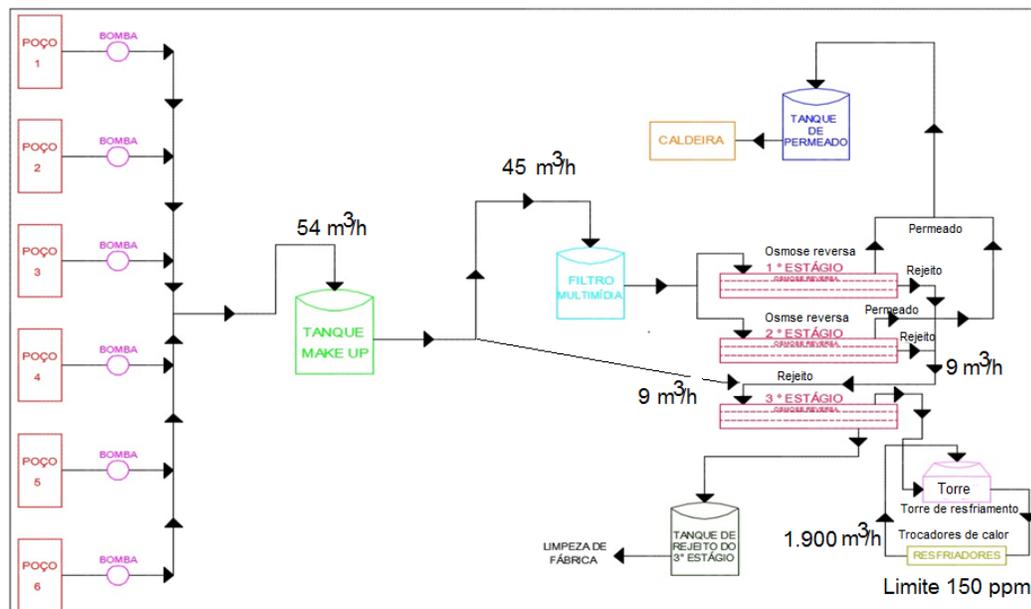


Figura 4 - Etapas do tratamento de água com osmose reversa, torre de resfriamento e trocadores de calor.



Deve-se salientar que o problema principal para o processo consiste no teor de sílica na água. O balanço de massa permite calcular a purga (B), Equação (1), após implantação do terceiro estágio de osmose reversa e após o sistema entrar em regime, usando o resultado da análise da sílica do permeado do terceiro estágio de osmose reversa, água de reposição na torre de resfriamento, sendo 150 ppm, limite operacional (TREYBAL, 1986). A Tabela 2 mostra os valores da concentração de sílica na água da torre de resfriamento (água que alimenta os trocadores de calor) após colocar em operação o terceiro estágio de osmose reversa.

$$B = E \cdot \left( \frac{x_M}{x_C - x_M} \right) - W_C = 15,048 \left( \frac{0,2}{150 - 0,2} \right) - 1,9 = -1,87m^3 \quad (1)$$

**Tabela 1.** Resultados das análises de correntes de água do sistema de processamento.

**Análise diária da água (purga) da bacia da torre de resfriamento antes da modificação.**

| Composição/<br>Medida | Valor<br>1º dia | Valor<br>2º dia | Valor<br>3º dia | Valor<br>4º dia | Valor<br>5º dia | Valor<br>6º dia | Valor<br>7º dia | Média  |
|-----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------|
| Sílica – ppm          | 162,70          | 156,30          | 152,30          | 151,30          | 152,70          | 159,30          | 149,50          | 154,87 |

**Análise semanal da sílica das águas residuais de osmose reversa.**

| Composição/<br>Medida | Valor<br>1º semana | Valor<br>2º semana | Valor<br>3º semana | Valor<br>4º semana | Média |
|-----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------|
| Sílica – ppm          | 58,40              | 69,30              | 64,70              | 65,30              | 64,42 |

**Concentração de sílica na água do permeado no terceiro estágio da osmose reversa.**

| Composição/<br>Medida | Valor | Valor | Média |
|-----------------------|-------|-------|-------|
| Sílica – ppm          | 0,00  | 0,40  | 0,20  |

**Tabela 2.** Resultados das análises de correntes de água na torre de resfriamento de água.

| Composição/<br>Medida | Valor<br>1º dia | Valor<br>2º dia | Valor<br>3º dia | Valor<br>4º dia | Valor<br>5º dia | Valor<br>6º dia | Média |
|-----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------|
| Sílica – ppm          | 103,89          | 94,70           | 114,60          | 72,4            | 65,20           | 50,80           | 83,59 |



A média indicada de 6 dias consecutivos aleatoriamente após entrada em regime de operação, 83,59 ppm e muito inferior ao limite operacional, 150 ppm. O valor negativo para a purga ( $B = -1,87$  m<sup>3</sup>/h) representa que não é necessário realizar a purga e que a evaporação de gotículas de água mantém o teor de sílica menor do que 150 ppm na torre de resfriamento de água.

#### 4. CONSIDERAÇÕES SOBRE A MEMBRANA INDUSTRIAL

A pressão osmótica de uma solução aquosa diluída pode ser obtida pela equação da lei de Van't Hoff (CARETA et al, 2019), ver a Figura 5:

$$\Pi = \frac{c \cdot R \cdot T}{M} \quad (2)$$

sendo:  $\Pi$  a pressão osmótica (Pa);  $c$  é a concentração do soluto ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ),  $R$  a constante dos gases e  $M$  a massa molecular do soluto,  $T$  é a temperatura (K).

E o permeado pela equação:

$$J_w = k \cdot A \cdot (\Delta P - \Delta \Pi) \quad (3)$$

sendo:  $J_w$  o fluxo de água;  $k$  ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{kPa}^{-1}$ );  $\Delta P$  e  $\Delta \Pi$  a pressão aplicada e a pressão osmótica, respectivamente (CARETA et al, 2019).

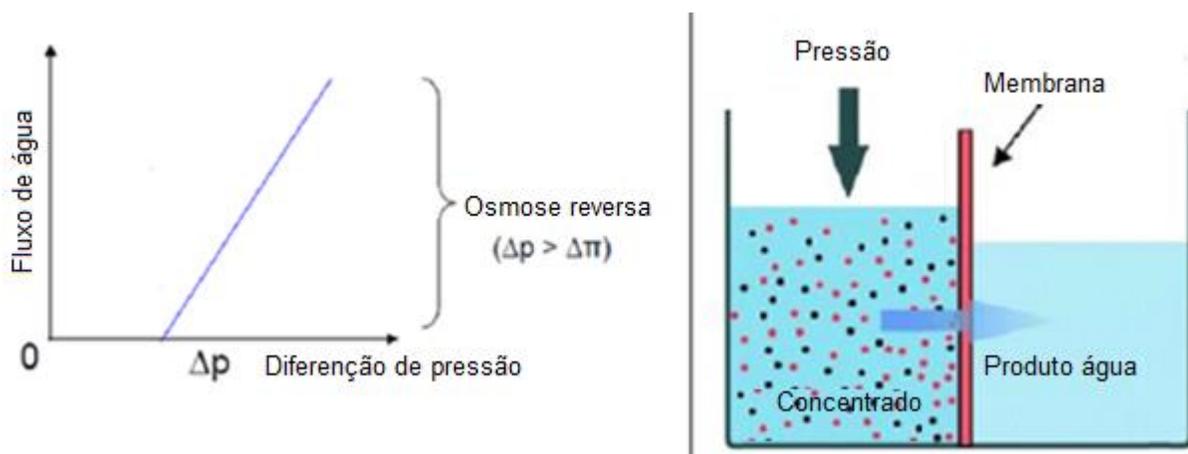


Figura 5- Relação entre o fluxo de água, pressão osmótica e pressão hidrostática sobre a membrana.



Desempenho do sistema de osmose reversa no tratamento de água para a caldeira.

$$\Pi = \frac{c \cdot R \cdot T}{M} = \frac{0.0129 \text{ kg/m}^3 \cdot 8.314 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3 / \text{kmol} \cdot \text{K} \cdot 298 \text{ K}}{60 \text{ kg/kmol}} = 0.53 \text{ kPa}$$

Como existem 9 m<sup>3</sup> de água de rejeitos e 9 m<sup>3</sup> de água adicional água nos poços, a média da concentração de sílica na a água que alimenta o terceiro estágio da osmose reversa foi igual a (0,0129 + 0,0642) / 2 = 0,0390 kg/m<sup>3</sup>.

$$\Pi = \frac{c \cdot R \cdot T}{M} = \frac{0.0390 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot 8.314 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{kmol}^{-1} \text{K}^{-1} \cdot 298 \text{ K}}{60 \text{ kg} \cdot \text{kmol}^{-1}} = 1.61 \text{ kPa}$$

Estes valores são inferiores à pressão de operação: 1,5 MPa, sobretudo, devido a concentração baixa da sílica.

## 5. CONCLUSÃO

Anteriormente à ampliação do sistema com a instalação do 3º estágio de osmose reversa, era necessária uma purga de 7,81m<sup>3</sup>/h para manter as concentrações de sílica dentro do limite especificado.

Após a instalação da terceira unidade de osmose reversa, não foi necessário realizar a purga devido à baixa concentração de sílica dissolvido na água da torre de resfriamento.

## 6. REFERÊNCIAS

CARETA, L.C.O. **Recuperação de água residual por osmose reversa para reposição em sistemas de trocadores de calor.** 2017. 82f. Dissertação (Dissertação do Curso de Mestrado em engenharia Química-Profissional), Universidade de Uberaba, UNIUBE, Uberaba.

CARETA, L.C.O., BEGNINI, M.L., LIMA, E.A.P., FINZER, JR.D. Processing of residual water by reverse osmosis. **International Journal of Hydrology.** v.3. n.5. 2019. p. 436-440.

SILVA, E.F.T. **Escassez e reuso da água.** 2010. 60f. Monografia (Monografia Instituto a Vez do Mestre), Universidade Cândido Mendes, Rio de Janeiro.

SILVA, D.A.C., SANTOS, E.B., DUARTE, J.A. Utilização de osmose reversa para tratamento de



águas. **Revista Eletrônica e-F@tec**. V.3. n.1. 2013. P.1-10.

TREYBAL, R. **Mass Transfer Operations**. New York. McGraw–Hill. 1981; 784p.

### **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem à Uniube (Universidade de Uberaba) e à FAPEMIG Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de Minas Gerais pelo apoio disponibilizado para realização deste trabalho.