

AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE ULTRAFILTAÇÃO POR MEMBRANAS PARA TRATAMENTO DE ÁGUA – ESTUDO DE CASO NA ETA ENGENHEIRO RODOLFO JOSÉ COSTA E SILVA

Mara Yoshino de Castro

Bacharel em Química pela Faculdade Oswaldo Cruz. MBA em Gestão e Tecnologias Ambientais pela Escola Politécnica da USP. Especialista em ensino técnico pelo Senac. Técnica em Sistemas de Saneamento na empresa SABESP.

Endereço: Rua Dr. Antônio Bento ,339-Santo Amaro-São Paulo-SP-CEP:04750-000-Brasil-Tel:(11) 982996237-e-mail: marayc@hotmail.com

RESUMO

À medida que a população mundial aumenta, paralelamente cresce o consumo dos recursos naturais a fim de suprir a crescente demanda por bens e serviços. Neste cenário, a água que é a principal fonte de vida dos seres vivos, tem sido usada de forma intensa e, em grandes partes do mundo, sem um adequado ou nenhum planejamento de seu consumo e tratamento. O aumento dos diversos tipos de poluentes que têm surgido a cada dia os quais são lançados nos corpos hídricos e a má distribuição de água no planeta, tanto pela sua distribuição geográfica como pela falta de infraestrutura adequada, aliados a leis mais rigorosas quanto à qualidade da água para consumo humano, foram alguns dos principais fatores para o desenvolvimento de novas tecnologias de tratamento de água que fossem mais eficazes. Após a segunda guerra mundial, o uso de membranas filtrantes para tratamento de água teve sua primeira grande aplicação comercial, quando os sistemas de abastecimento de água em cidades da Alemanha estavam precários e, assim, havia a necessidade de desenvolver maneiras de garantir a potabilidade da água. Logo, vários tipos de membranas surgiram no mercado cujos tamanhos dos poros determinaram seu grau de seletividade. O presente estudo tem como objetivo fazer uma avaliação do sistema de membranas ultrafiltrantes na ETA Engenheiro Rodolfo José Costa e Silva, localizada na capital do Estado de São Paulo e abastecida pela represa Guarapiranga, em comparação ao sistema de ciclo completo¹, existente desde a fundação da ETA, a fim de serem avaliados os custos e o consumo de energia, os quais se mostraram mais elevados do que o sistema de ciclo completo, bem como a qualidade da água produzida, cujos resultados mostraram melhores reduções dos parâmetros analisados. Quanto ao espaço requerido, o sistema de membranas necessita de uma área muito menor para atender a mesma vazão. Não há geração de lodos e quanto ao uso de produtos químicos, apenas são utilizados o ácido cítrico e o hipoclorito de sódio no processo de limpeza das membranas enquanto no sistema ciclo completo são necessários o uso de coagulante, polímero e cloro durante o tratamento o que aumenta o custo em cerca de três vezes.

O sistema de membranas foi construído devido à crise hídrica nos anos de 2014 e 2016 a fim de aumentar a disponibilidade de água na RMSP. As medidas emergenciais tomadas por causa da escassez de chuvas no Sistema Cantareira, fez com que o Sistema Guarapiranga se tornasse o principal sistema de abastecimento de São Paulo no ano de 2015.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de água, membranas ultrafiltrantes, ETA Engenheiro Rodolfo José Costa e Silva.

INTRODUÇÃO

A distribuição desigualitária de água doce em várias regiões do mundo, o que ocasiona sérios problemas de escassez como no Oriente Médio, fez com que novas tecnologias emergissem como soluções alternativas para o tratamento da água. Dentre elas, é importante citar a incorporação em escala quase industrial de processos de destilação e a utilização de membranas, esta última no início da década de 1970. Apesar de não terem sido inicialmente desenvolvidas para o tratamento de água de abastecimento, as membranas se adaptaram posteriormente para atender a este objetivo.

¹ Nome recentemente utilizado em substituição ao nome “sistema convencional” (coagulação, floculação, sedimentação e filtração).

As membranas sintéticas surgiram como uma tentativa de se assemelhar as membranas naturais, em particular quanto as suas características únicas de seletividade e permeabilidade. A filtração por membrana envolve a separação de compostos dissolvidos, coloidais e partículas constituintes a partir de um fluido pressurizado usando materiais microporosos. Em geral, os processos de separação por membranas são classificados em termos do tamanho dos poros ou do peso molecular de corte e da pressão aplicada. Com base no tamanho dos poros, as membranas são classificadas em quatro grupos principais: microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa.

Atualmente há uma enorme variedade de membranas, cujas diferenças básicas são os materiais e, como já mencionado, o tamanho dos poros. As principais vantagens da implementação desse material no processo de tratamento de água são: ganhos operacionais - devido à maior automação -, não há produção de lodos e melhoria da qualidade da água tratada, algo de extrema importância considerando a situação de diversificação de poluentes. As principais desvantagens são: o preço das membranas, que ainda é elevado, e o aumento do consumo de energia. Além disso, a adaptação da mão de obra a uma nova tecnologia já é um obstáculo à implementação. Diante desse problema e às adequações para atender à legislação, cuja tendência é aumentar as exigências de qualidade da água tratada, a modernização do sistema de tratamento se faz necessária.

O presente estudo tem como objetivo a avaliação do tratamento de água por membranas ultrafiltrantes na ETA ERJCS que utiliza as águas do Sistema Produtor Guarapiranga, cuja implantação foi devida à crise hídrica ocorrida entre os anos de 2014 e 2016. O sistema Guarapiranga é composto pelas represas Guarapiranga, Capivari e Billings (Braço Taquacetuba). A represa Guarapiranga, principal manancial, é de propriedade da Empresa Metropolitana de Águas e Energia – EMAE, e possui uma capacidade de armazenamento de 171 bilhões de litros de água, formando o segundo maior Sistema Produtor da Região Metropolitana de São Paulo. Seus principais afluentes são os Rios Embu Guaçu, Embu Mirim e Rio Parelheiros, bem como as águas transferidas das represas Billings e do rio Capivari através de estações elevatórias. A água captada na represa é encaminhada para a Estação de Tratamento de Água Engenheiro Rodolfo José Costa e Silva que é responsável pelo abastecimento público de grande parte da zona sul e sudoeste da Grande São Paulo. Atualmente a produção alcança até 15 m³/s de água, para o sistema de ciclo completo. Devido à crise hídrica ocorrida entre os anos de 2014 a 2016, o governo do Estado de São Paulo decidiu aumentar a disponibilidade hídrica e iniciou, através de contratos por licitação, o projeto de tratamento de água por sistemas de membranas. A ampliação da ETA conta com um sistema de ultrafiltração por membranas e foi dividida em duas fases. A primeira fase, inaugurada em dezembro de 2014, produz 1m³/s e a segunda fase inaugurada em julho de 2015 produz mais 1m³/s.

Devido ao aumento da demanda de água potável na cidade de São Paulo e a grande necessidade de compensar a crise hídrica naquele momento, a Sabesp buscou, então, uma tecnologia que pudesse acrescentar 2 m³/s de produção de água em um período relativamente curto de projeto e que produzisse água de boa qualidade. Isto possibilitou que o novo aumento de produção de água tratada ajudasse a reduzir a retirada do Sistema Cantareira, permitindo ao Guarapiranga avançar em novas áreas, principalmente na região da Avenida Paulista.

A implantação das membranas fez parte do pacote de medidas que foram efetuadas para o enfrentamento da crise hídrica ocorrida entre os anos de 2014 e 2016 a fim de aumentar a disponibilidade hídrica na RMSP. Com as medidas emergenciais tomadas por causa da escassez de chuvas no Cantareira, o Sistema Guarapiranga tornou-se, em 2015, o principal sistema de abastecimento de São Paulo. Além disso, foram levados em consideração a qualidade superior da água tratada, além da economia de espaço físico e da velocidade de implantação.

OBJETIVOS

Avaliar o sistema de ultrafiltração por membranas para tratamento de água quanto ao consumo e custo energético e a qualidade da água em relação ao sistema de ciclo completo, a partir do estudo de caso na ETA ERJCS.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia do presente trabalho foi realizada em quatro etapas por um período total de dois meses. Na primeira etapa, foi feita uma pesquisa através de dados secundários referenciados neste trabalho a respeito das características da ETA ERJCS e do sistema de membranas da mesma. Na segunda etapa, foram executadas as etapas de operação do sistema de membranas, através de comando executado por programa específico, *KOCH membrane systems*, salvo nos casos em que houve necessidade de operação em local, e feitas as observações pertinentes a cada etapa do processo de funcionamento. Na terceira etapa, foram coletadas as informações referentes ao consumo e gasto de energia por meio de entrevista com pessoal especializado que atua na parte elétrica e instrumental, além de consulta de manuais técnicos e coleta de dados em campo tanto do sistema de membranas como de ciclo completo. Na quarta etapa,

tratou-se da execução e avaliação dos resultados de análises laboratoriais para a verificação da qualidade da água a qual foi realizada no âmbito do Laboratório de operação da ETA ERJCS, no qual ocorre o monitoramento do tratamento conforme os padrões de qualidade de água tratada para consumo humano referente à Portaria Consolidação 5, anexo XX, (PC5, anexo XX) aos limites internos de qualidade da ETA ERJCS e as metodologias de ensaios de acordo com o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Foram feitas análises físico-químicas do monitoramento diário para efeitos de comparação em relação ao sistema de ciclo completo, portanto não foram realizados todos os parâmetros constantes na Portaria PRC5, anexo XX.

CARACTERIZAÇÃO DA ETA ENGENHEIRO RODOLFO JOSÉ COSTA E SILVA

A ETA ERJCS é abastecida pelo Sistema produtor Guarapiranga o qual é o segundo maior produtor de água da RMSP, responsável por atender aproximadamente 4,9 milhões desta região. Está localizada em um bairro residencial próximo a vias de grande circulação na zona sul da capital paulista. Utiliza-se da água da represa Guarapiranga por bombeamento 24 horas. Inicialmente, foi projetada para tratar 14,0 m³/s. A produção média é de 14,5 m³/s para o sistema de ciclo completo e de 1,0 m³/s no tratamento por membranas ultrafiltrantes, o que totaliza 15,5 m³/s. A área do tratamento é de, aproximadamente, 39.123 m². A água bruta é captada na estação elevatória por um conjunto de seis grupos moto - bombas e chega à estação por uma adutora de diâmetro 2.500mm e 7,2 km de extensão. Possui basicamente uma câmara de chegada de água bruta onde ocorrem a mistura com coagulante, dois medidores de vazão nas duas adutoras de água coagulada, oito floculadores, oito decantadores de fluxo horizontal, 32 filtros rápidos por gravidade formados por carvão antracito e areia sobre camada suporte de pedregulho, instalações para estocagem de produtos químicos, quatro extintores de cal, seis cloradores, cinco evaporadores de cloro, dois reservatórios subterrâneos com capacidade total de 45.000 m³, dois reservatórios metálicos do tipo apoiado com 40.000 m³ de capacidade total e tanques de armazenamento de produtos químicos.

CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA DE MEMBRANAS DA ETA ENGENHEIRO RODOLFO JOSÉ COSTA E SILVA

A implementação do Sistema de membranas ultrafiltrantes ocorreu devido à crise hídrica nos anos de 2014 e 2016 a fim de aumentar a disponibilidade hídrica na RMSP. Com as medidas emergenciais tomadas por causa da escassez de chuvas na região do Cantareira, o Sistema Guarapiranga se tornou o principal sistema de abastecimento de São Paulo em 2015. A utilização dessas membranas permite a redução no tempo de tratamento da água. O processo que demoraria duas horas, em média, passou a ser concluído entre 20 e 30 minutos. O funcionamento é automatizado e utiliza uma quantidade menor de produtos químicos. As membranas foram importadas da Alemanha.

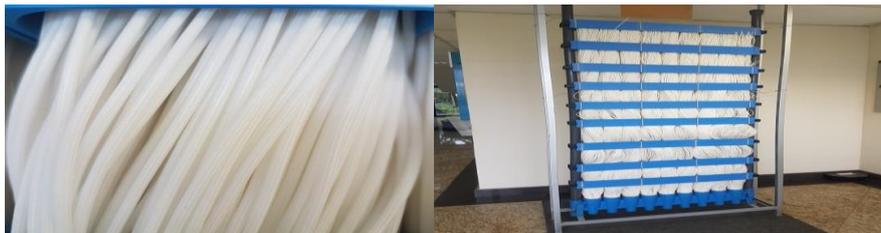
A primeira fase do projeto foi concluída no final de 2014 sendo entregues seis módulos de unidades de ultrafiltração e a segunda fase foi concluída em agosto de 2015 sendo entregues mais seis módulos. Estes 12 módulos totalizam um acréscimo de 2 m³/s de vazão para o tratamento.

A área total ocupada pelos doze *Skids* é cerca de 800,0 m². A área de todo o sistema é de, aproximadamente, 2.489 m².

A recuperação da água que entra no sistema é de 94%. Destes, 90% vai para o sistema de ciclo completo para ser tratada e 6% é descartado como efluente de acordo com os parâmetros de lançamento de efluentes líquidos do Decreto 8468/76. O gasto com produtos químicos é de, aproximadamente, R\$ 0,020/m³ para o sistema de membranas e de R\$ 0,057/m³ para o de ciclo completo. (CAMELO, A.C.R.; COUTINHO, M., 2016)

O produto, denominado PURON® HF, é composto por módulos de membranas submersas com fibra oca reforçada fabricada em PVDF (fluoreto de polivinilideno) com poros de 0,03 µm, possui a maior densidade de empacotamento do mercado (2650m²) e uma tolerância a concentrações de sólidos suspensos superior a 1000mg/L.

O sistema possui processos de retrolavagem, com auxílio de aeração, limpezas químicas de manutenção e recuperação com ácido cítrico e hipoclorito de sódio, cujo objetivo é retirar as incrustações que se aderem aos poros da membrana.



Fotografia 1-Fileira de membranas para o módulo

Fonte: O autor, 2018.



Fotografia 2- Skid com membranas submersas em água decantada

Fonte: O autor, 2018.

OBTENÇÃO DE DADOS QUANTO AO CONSUMO E CUSTO ENERGÉTICO

Para o objetivo de avaliar consumo e o gasto de energia entre os dois sistemas, foram feitas pesquisas por meio de entrevistas com perguntas específicas para dois profissionais especializados. Um profissional, cujo cargo é de encarregado responsável pelo setor de elétrica e instrumentação e formação na área de engenharia elétrica e outro cujo cargo é de instrumentista responsável pela manutenção de equipamentos e formação na área técnica de eletricidade. As medições de energia foram feitas através de aparelhos digitais medidores de grandezas elétricas de forma direta, medidores multiparâmetros, colocados em pontos específicos de medição onde ocorria a entrada de energia nas subestações para cada sistema de tratamento.

MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA PERMEADA

A fim de avaliar a qualidade da água que sai do sistema de membranas, foram realizados ensaios no laboratório de operação da ETA ERJCS, para os parâmetros de alumínio, cloro residual livre, cor, ferro, flúor, manganês, pH, turbidez. O laboratório atende às normas de qualidade para execução dos ensaios e à PC 5, anexo XX, para os limites de cada parâmetro. Os dados coletados referem-se à média mensal de cada parâmetro obtida no ano de 2017 e estão apresentados nas Tabelas 2 e 3 no Capítulo Resultados e Discussões, mais adiante. Para a execução dos ensaios foram utilizados os métodos referenciados no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A implementação do sistema de membranas teve como base a necessidade da escolha de pré-tratamento a qual estava atrelada às características da água bruta para que as membranas pudessem operar com os parâmetros requeridos pelo fabricante, a área requerida, a qualidade da água tratada e os custos de implantação, operação e manutenção. Através de informações técnicas, foi determinada a área requerida pelo sistema de membranas e o número de *skids* necessários para a vazão de produção da ETA. O tipo de membrana e o fabricante são de suma importância para implementação do sistema que está atrelado a cada tipo de tratamento, no caso, água para consumo. As informações técnicas geralmente especificam um ou mais parâmetros para a filtração direta. Tais parâmetros são importantes, pois definem a capacidade de filtração e a eficiência das membranas.

Segundo Tian et. Al (2013), em seu estudo sobre a correlação entre importante deteriorante de membranas ultrafiltrantes e a resistência dessas membranas, o principal indicador de deterioração das membranas, que também será um indicador de custos operacionais e eficiência do sistema, são os biopolímeros, macromoléculas como polissacarídeos e proteínas, apresentando uma correlação considerada muito forte entre concentração dessas substâncias e a deterioração das membranas. Outro fator a ser considerado é a matéria particulada, representada tanto pelos sólidos suspensos quanto pela turbidez, podendo ser utilizada como indicador principal de deterioração, o que

indica a necessidade do pré-tratamento ou não dependendo dos valores. Estes fatores foram verificados quando houve bastante alarmes de alerta no sistema de membranas devido à presença destas partículas.

O pré-tratamento tem como objetivo obstruir substâncias causadoras de deterioração da membrana. Essas substâncias causam diminuição gradativa do fluxo de água, o que é operacional e economicamente ruim. Arhin et al (2016) faz uma revisão das principais técnicas de pré-tratamento e sua relação com o controle da deterioração das membranas. Dentre elas, coagulação, adsorção em carvão ativado e resinas de troca iônica. Segundo Kabsch-Korbutowics, Bilyc e Molczan (2006) e Bing-zhi et al (2007) as matérias orgânicas naturais na água a ser tratada são consideradas as principais substâncias responsáveis pela deterioração do fluxo. Na ETA ERJCS, por conta destes e outros interferentes que afetariam o processo de tratamento com membranas, a água utilizada para tratamento passou a ser da água bruta para a água decantada a fim de evitar rápida deterioração das membranas. Foi observado que durante a aplicação de carvão ativado na água bruta para remoção de gosto e odor, mesmo utilizando-se água decantada, as partículas de carvão causam um entupimento progressivo no sistema de membranas que causam deterioração do fluxo. Por isto, ao ser aplicado carvão ativado na água bruta, para remoção de gosto de odor na represa Guarapiranga, e esta estiver sendo utilizado diretamente no sistema de membranas ou utilizando-se água decantada cujo número de partículas de carvão é bem menor, foi necessário parar o sistema de membranas para não promover o entupimento dos poros. Caso contrário, deveria ser feito um pré-tratamento para remoção das partículas de carvão ativado.

Quanto à área requerida, foi determinado pelo projeto proposto levando-se em consideração o volume de água a ser tratado para avaliar a quantidade de *skids*, bombas, pré filtros, sopradores, compressores, área de armazenamento e dosagem de produtos químicos e sala de painéis elétricos e de comandos. Os *skids* reúnem um conjunto de membranas e tubulações já pré-alocados que necessitam somente da interligação ao sistema principal de tubulações e bombas para entrar em funcionamento. Assim como as membranas individuais, possuem vazão de produção estimada, já considerando as perdas com retrolavagem. Além disso, requerem uma área pré-calculada, que é exposta nas informações do produto. A área necessária para o sistema de ciclo completo é cerca de seis vezes maior do que o sistema de membranas para atender a uma mesma vazão. Para este cálculo foi levado em consideração a área do sistema de ciclo completo que envolveram os floculadores, decantadores e filtros cuja relação área/volume foi de 2.239,9 m²/m³. Para o sistema de membranas foi levado em consideração a área dos *Skids* cuja relação área/volume foi de 400,0 m²/m³. Logo, $2.239,9 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-3} / 400,0 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-3} = 5,6$. Quanto à demanda de energia e aos custos energéticos, foram obtidos os valores conforme Tabela 1 a seguir.

Tabela 1-Comparação do consumo e gasto de energia entre os sistemas de Membranas de Ultrafiltração e de Ciclo Completo no ano de 2017.

Dados	ETA Membranas	ETA Ciclo Completo
Consumo Kwh/ m ³	0,090	0,017
*Custo R\$/ 1000 m ³	24,300	4,590

*Valor médio de R\$ 0,27 do kwh para região sudeste do Brasil, para serviço de saneamento, ano de 2017.

Fonte: O autor, 2018.

De acordo com os dados da Tabela 1, o consumo e o custo de energia para o sistema de membranas são cerca de cinco vezes maiores do que o de ciclo completo.

No quesito custos de implantação, o custo inicial é o mais elevado pois está relacionado ao investimento, principalmente, na aquisição dos materiais. Segundo Mierzwa et al (2008), o custo de aquisição de membranas pode ser de quase 50% do investimento inicial total. O custo torna-se competitivo em relação ao sistema de ciclo completo com carvão ativado em termos de qualidade, ou seja, para que este alcance a mesma qualidade do sistema de membranas seu custo seria aumentado. Segundo dados da Sabesp, o custo inicial do sistema de membranas ultrafiltrantes é 25% maior do que o sistema de ciclo completo (SABESP, 2016).

Quanto à qualidade da água, a filtração por membranas é uma técnica promissora por remover pesticidas e outros micropoluentes orgânicos da água. A retenção dos compostos depende de sua natureza, sendo fortemente influenciada pelo material aplicado na membrana, dependendo, também, da composição da água bruta e das condições de processo. Segundo Snyder et al (2007) mostra que membranas ultrafiltrantes podem ser eficientes para bloquear o triclosan (rejeição de 87,5%), embora sejam pouco eficientes para bloquear cafeína (rejeição de 7%), ibuprofeno (rejeição de 8,3%) e carbamapexina (rejeição de 15, 7%). A remoção de *Giárdia* e *Cryptosporidium* é de 99,9 %, há ausência de coliformes fecais para uma amostra de 100 ml e eliminação acima de 95,0% para partículas de tamanho até 20,0 µm (CENTROPROJEKT, 2016). Conforme já citado, as membranas utilizadas possuem poros de 0,03 µm o que promove a remoção de partículas, substâncias, vírus e bactérias nesta faixa. A Figura 6 exemplifica a grande vantagem na remoção de compostos cujos tamanhos são maiores do que o tamanho dos poros na ultrafiltração.



Figura 6-Representação da retenção de compostos de acordo com o tamanho do poro da membrana

Fonte: <http://www.naturaltec.com.br/ultrafiltracao> (2018).

A fim de verificar a eficiência na remoção de alguns compostos presentes na água, foram realizados ensaios no laboratório de operação da ETA ERJCS cujos resultados encontram-se nas Tabelas 2 e 3 a seguir.

Tabela 2-Valores dos Parâmetros monitorados da água tratada pelo Sistema de Membranas por Ultrafiltração da ETA Engenheiro Rodolfo José Costa e Silva no ano de 2017.

	Cor (UC)**	pH	Turbidez (NTU)*	Cloro residual livre (mg/L)	Fluoreto (mg/L)
PC 5 /2017	15,000	Entre 6,000 e	5,000	5,000	1,500
VMP***	(uH)**	9,500	(uT)*	(mg/L)	(mg/L)
Janeiro	2,900	6,320	0,100	0,980	0,080
Fevereiro	3,100	6,320	0,090	0,720	0,100
Março	2,500	6,560	0,090	1,200	0,008
Abril	3,000	6,500	0,090	1,120	0,008
Maio	2,600	6,290	0,120	1,150	0,007
Junho	2,500	6,330	0,080	0,820	0,009
Julho	2,000	6,410	0,080	0,950	0,008
Agosto	2,300	6,390	0,110	1,200	0,006
Setembro	2,900	6,190	0,100	0,850	0,007
Outubro	2,100	6,270	0,090	0,770	0,009
Novembro	2,200	6,420	0,090	1,200	0,007
Dezembro	2,500	6,790	0,100	0,850	0,009
Média	2,550	6,339	0,095	0,984	0,021
	Alumínio (mg/L)	Ferro (mg/L)	Manganês (mg/L)		
PC 5 /2017	0,200	0,300	0,100		
VMP***	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)		
Janeiro	0,020	0,005	0,012		
Fevereiro	0,010	0,019	0,015		
Março	0,025	0,008	0,025		
Abril	0,023	0,017	0,008		
Maio	0,029	0,001	0,014		
Junho	0,023	0,005	0,006		
Julho	0,010	0,005	0,005		
Agosto	0,024	0,003	0,028		
Setembro	0,018	0,004	0,012		
Outubro	0,026	0,006	0,010		
Novembro	0,014	0,005	0,008		
Dezembro	0,013	0,006	0,006		
Média	0,020	0,007	0,012		

*INTU equivale a 1uT.

**1uH equivale a 1UC.

***PC5/2017 VMP-Valor máximo permitido para água final da Portaria Consolidação nº 5, anexo XX.

Fonte: O autor,2018

**Tabela 3-Valores dos Parâmetros monitorados da água tratada pelo Sistema de Ciclo Completo da ETA Engenheiro Rodolfo José Costa e Silva no ano de 2017.**

	Cor (UC)**	pH	Turbidez (NTU)*	Cloro residual livre (mg/L)	Fluoreto (mg/L)
PC 5 /2017	15	Entre 6,000 e	5,000	5,000	1,500
VMP***	(uH)**	9,500	(uT)*	(mg/L)	(mg/L)
Janeiro	3,200	6,089	0,320	1,750	0,109
Fevereiro	3,500	6,112	0,260	1,365	0,098
Março	2,900	5,962	0,310	1,552	0,122
Abril	3,200	5,996	0,390	1,856	0,129
Mai	3,100	6,002	0,410	1,645	0,102
Junho	2,800	6,125	0,260	1,335	0,089
Julho	3,300	6,254	0,270	1,023	0,139
Agosto	3,400	5,986	0,290	1,556	0,144
Setembro	2,900	5,965	0,330	1,340	0,109
Outubro	3,000	6,105	0,280	1,268	0,124
Novembro	3,100	5,992	0,350	1,026	0,119
Dezembro	3,300	6,002	0,350	1,754	0,123
Média	3,142	6,049	0,318	1,456	0,117
PC 5 /2017	Alumínio	Ferro	Manganês		
VMP***	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)		
	0,200	0,300	0,100		
Janeiro	0,063	0,010	0,018		
Fevereiro	0,055	0,010	0,022		
Março	0,066	0,018	0,015		
Abril	0,075	0,023	0,017		
Mai	0,069	0,020	0,024		
Junho	0,082	0,025	0,033		
Julho	0,063	0,009	0,014		
Agosto	0,070	0,018	0,023		
Setembro	0,056	0,009	0,018		
Outubro	0,059	0,008	0,012		
Novembro	0,062	0,010	0,025		
Dezembro	0,059	0,011	0,015		
Média	0,065	0,014	0,020		

*INTU equivale a 1uT.

**1uH equivale a 1UC.

*** PC5/2017 VMP-Valor máximo permitido para água final da Portaria Consolidação nº 5, anexo XX.

Fonte: O autor, 2018

A partir dos resultados obtidos foi verificado que os valores dos dois tipos de sistemas estiveram bem abaixo do limite máximo permitido pela Portaria PC5/2017 para a água final. A referência foi da água final, pois esta é a distribuída para o consumo. A Portaria não possui valores dos parâmetros de potabilidade para água filtrada, somente para a turbidez cujo valor máximo permitido é de 0,500 NTU. De acordo com os dados das tabelas 2 e 3, ao comparar o sistema de membranas em relação ao de ciclo completo, houve remoção, a mais, de 18,79% de cor, 31,80% de turbidez, 32,42% de cloro livre, 82,05% de flúor, 69,23% de alumínio, 64,28% de ferro, e 40,00% de manganês. Os compostos causadores de gosto e odor, Metilisoborneol (MIB) e Geosmina (GEO), não puderam ser executados devido a restrições internas naquele período. Somente foram obtidos os valores para a água final². Foram encontradas as médias anuais de 45,0 ng/L³ para o MIB e valores abaixo de 4,0 ng/L³ para a GEO apenas para tratamento no sistema de ciclo completo associado à aplicação de carvão ativado. Estes parâmetros foram realizados pelo método da

² Denominação para a água que passou por todas as etapas do tratamento e será encaminhada para reservação e depois distribuição.

³ Limite máximo interno do processo é menor que 75,0 ng/L para Metilisoborneol (MIB) e menor que 20,0 ng/L para Geosmina (GEO). Os valores máximos permitidos para estes compostos ainda não constam na PC5/2017.



AWWA ,1987 realizados no laboratório da ETA Guaraú, através de cromatografia gasosa com espectrometria de massa. É importante ressaltar que quando ocorrem florações de algas responsáveis pela formação destes compostos é feita a aplicação de carvão ativado antes da entrada de água bruta na ETA, pois somente o sistema de ciclo completo não é capaz de fazer sua adequada remoção. Devido à ausência de dados para a remoção de tais compostos, uma vez que estes parâmetros não são analisados para a água que sai do sistema de membranas já que ela se mistura com água do tratamento de ciclo completo na etapa final do tratamento, foi necessário recorrer a pesquisas referenciadas. Segundo Reiss et al (2006), em estudos no rio Hillsborough, Flórida, no processo de tratamento químico associado à coagulação/floculação /sedimentação houve remoção de 71% de MIB enquanto que, para os processos de microfiltração e ultrafiltração associado à baixa dosagem de coagulante, houve remoção de 5% a 14% deste composto. Para o composto GEO, no processo de tratamento químico associado à coagulação/floculação /sedimentação houve remoção de 78% e para os processos de microfiltração e ultrafiltração houve remoção de 28% a 42% deste composto. Para águas superficiais de um manancial com alta carga orgânica, os processos de microfiltração e ultrafiltração por membranas teve a remoção de 5% a 40% para estes compostos.

CONCLUSÕES

Através dos dados apresentados, fica evidente que o tratamento de água por membranas ultrafiltrantes representa uma alternativa tecnológica para tratamento de água com alta qualidade, uma vez que a membrana retém compostos de até 0,03 μm . Devido às características da água bruta proveniente da represa Guarapiranga possuir turbidez considerada alta para os parâmetros da membrana e considerável quantidade de substâncias poluentes oriundas de efluentes industrial e doméstico, foi necessário realizar um pré-tratamento na água ao invés de ocorrer a filtração direta nas mesmas. Caso contrário, a operação poderia ficar inviável devido a problemas constantes de deterioração do fluxo e reposição de membranas. A ETA ERJCS possui o tratamento de ciclo completo, assim empregou-se a água da etapa de decantação para posterior tratamento na ultrafiltração. O problema da presença de poluentes emergentes nas águas utilizadas para tratamento é uma constante preocupação, pois muitos deles não podem ser totalmente removidos pelo tratamento de ciclo completo, o que potencialmente significaria a presença desses poluentes na água consumida. Com a utilização das membranas ultrafiltrantes muitos destes são eliminados devido à sua maior seletividade pelo tamanho dos poros. Tal processo pode ser otimizado com a associação deste tratamento a outros como o método Cristal, associação de carvão ativado e ultrafiltração. Quanto aos custos de implantação do sistema de membranas, os mais expressivos foram os custos de aquisição das membranas, cerca de 25% do custo inicial. Os custos de operação e manutenção necessitam de maiores reservas de capital devido, respectivamente, ao aumento da demanda de energia e da reposição dos componentes do sistema, como bombas e válvulas, que tem custos elevados.

As membranas necessitam operar dentro dos limites especificados pelo fabricante para que não haja o desgaste e ou obstrução das mesmas. O monitoramento dos valores das variáveis do processo, como pressão, temperatura ou consumo de produtos químicos é de suma importância, pois valores anormais indicam alguma anomalia no processo. Como exemplo, valores de pressão altos no processo de retrolavagem indicam uma grande quantidade de partículas de sujeiras acumuladas na superfície da membrana.

Devido às leis mais rigorosas e diminuição da disponibilidade de fontes adequadas de águas brutas, tanto em qualidade como em quantidade, faz com que mais pesquisas se façam necessárias sobre o uso de processos de filtração por membranas para a produção de água potável tornando uma alternativa ao tratamento ciclo completo. O tipo de membrana, a escolha de um tratamento específico, combinado ou associado (coagulação, CAP, oxidação, Cristal) interferem na qualidade da água desejada.

Os principais custos do sistema de ciclo completo são mão de obra, produtos químicos e disposição de lodo, e os do sistema de membranas ultrafiltrantes são energia e manutenção. O custo com energia deve ser destacado, podendo representar aproximadamente 50% dos custos operacionais do sistema de membrana. Na ETA ERJCS o gasto e custo energético para o sistema de membranas ultrafiltrantes foi cerca de quatro vezes maior devido a maior quantidade e diversidade de componentes como bombas, compressores e sopradores de ar, válvulas elétricas entre outros. Entretanto, este último necessita de uma área cerca de duas vezes menor para uma mesma vazão. Não houve produção de lodo e os custos com produtos químicos foram ,aproximadamente, três vezes menor para o sistema de membranas por metro cúbico de água tratada .Os benefícios observados, desde o início de operação do sistema foram o não acúmulo de produtos dentro da membrana, uma vez feitos os processos de limpeza indicados, o que viabiliza a operação contínua, não há necessidade de produtos químicos no tratamento de água bruta, uma vez que foi utilizada água do processo de decantação (pré-tratamento), a planta é compacta e automatizada, a área requerida é menor do que para uma estação de tratamento ciclo completo, há a obtenção de água tratada de melhor qualidade devido ao tamanho dos poros da membrana (0,03 μm) o que promove a remoção de partículas, substâncias, vírus e bactérias nesta faixa. Como já foi citado, o sistema de ultrafiltração possui a capacidade de produzir água de qualidade e atende à portaria PC5 anexo XX a qual, dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para

consumo humano e seu padrão de potabilidade. Dos valores constantes nas tabelas 2 e 3, foram constatados que, do sistema ciclo completo para o sistema de membranas de ultrafiltração, houve melhor remoção dos parâmetros analisados. No sistema de membranas por ultrafiltração, segundo estudos realizados por Reiss et al (2006), a remoção destes compostos não chega a ser maior do que 40% para um manancial de água superficial de alta carga orgânica como a da represa Guarapiranga. O que significa que seria necessária uma associação de técnica para melhorar a eficiência da remoção.

Os inconvenientes no sistema são o aumento da demanda de energia, possível necessidade de pré-tratamento da água bruta a fim de não obstruir muito rapidamente a membrana, a reposição de peças pode ser mais demorada e caras por serem importadas e representarem uma tecnologia relativamente mais nova.

Pode-se concluir que os custos elevados podem ser compensados quando se pretende obter uma água de igual qualidade que seria obtido através do tratamento de ciclo completo associado a outras técnicas de pré tratamento e representa uma tecnologia que não utiliza produtos químicos, somente nos processos de limpeza com uso do hipoclorito de sódio e do ácido cítrico, não há geração de lodos e opera automaticamente. Devido à seletividade dos poros da membrana utilizada serem de 0,03 µm, houve uma maior remoção de substâncias, vírus e bactérias nesta faixa o que representa uma melhoria na qualidade da água para abastecimento público.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION- APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23. ed. Washington: APHA, 2017.
2. AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION . Identification and treatment of taste and odors in drinking water. Denver, AWWARF, December, 1292p.
3. ARHIN, S.G.; BANADDA, N.; KOMAKECK, A.J.; KABENGE, I.; WANYAMA, J. Membrane fouling control in low pressure membranes: A review on pretreatment techniques for fouling abatement. Department of Agricultural and Bio-Systems Engineering, Makerere University, P.O. Box 7062, Kampala, Uganda, 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/304794446_Membrane_fouling_control_in_low_pressure_membranes_A_review_on_pretreatment_techniques_for_fouling_abatement>. Acesso em 27 de set. de 2018.
4. AWWA - AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. Microfiltration and Ultrafiltration Membranes for Drinking Water. Journal-American Water Works Association, v. 100, n. 12, p. 84-97, 2008.
5. BING-ZHI, D.; HUA-QIANG, C.LIN, W.et el. The removal of bisphenol A by follow fiber microfiltration membrane. Desalination, 2010.
6. BRASIL. Ministério da Saúde.Portaria de Consolidação nº 5 de 28/09/2017.Disponível em: <http://www.normasbrasil.com.br/norma/portaria-de-consolidacao-5-2017_356387.html >. Acesso em 05 de dez.de 2018.
7. CAMELO, A.C.R.; COUTINHO, M.ETA –Sabesp-Alto da Boa Vista: Implantação da maior ultrafiltração para água potável do Brasil. São Paulo, CentroProjekt do Brasil, 2016.Disponível em :<<https://docplayer.com.br/14906571-Eta-sabesp-alto-da-bos-vista-implantacao-da-maior-ultrafiltracao-para-agua-potavel-do-brasil-anna-carolina-raposo-camelomauro-coutinho.html>>. Acesso em 31 jul.2018.
8. CENTROPROJEKT BRASIL. Disponível em <http://www.centroprojekto-brasil.com.br/07_obras.htm>. Acesso em 01set.2018.
9. KABISCH-KORBUTOWICZ, M.; BILYK, A.; MOLCZAN, M. The Efect of Feed Water Pretreatment on Ultrafiltration Membrane Performance. Polish journal of environmental studies, v.15, n.15,2006.
10. KOCH Membrane Systems Inc. Manual de Operação e Manutenção – Módulo PURON® HF, 124,2015.
11. MIEZERWA, J.C. SILVA, M.C.C. DA; RODRIGUES, L.D.B. HESPANOL, I. Tratamento de água para abastecimento público por ultrafiltração: avaliação comparativa através dos custos diretos de implantação e operação com os sistemas ciclo completo e ciclo completo com carvão ativado. Engenharia Sanitária e Ambiental, v.13,2008.
12. REISS C.R.; ROBERT, C.; OWEN, C.; et al. (2006). Control of MIB, Geosmin and TON by membrane systems. *Journal of Water Supply Research and Technology - AQUA*, v. 55, n. 2, p. 95-108.
13. ROSEN, G. Uma história da Saúde Pública. São Paulo; Hucitec: Universidade Estadual Paulista; Rio de Janeiro: associação Brasileira de Pós-Graduação em Saúde Coletiva, 1994.
14. SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo- ETAs ALTO DA BOA VISTA e RIO GRANDE: Implantação de Tratamento de Água por Membranas de Ultrafiltração. Caminhos da

- Engenharia- Capitulo X – Crise Hídrica em São Paulo, 2016. Disponível em <<https://ie.org.br/site/ieadm/arquivos/arqnot10314.pdf>> Acesso em 31 de jul. de 2018.
15. SÃO PAULO. Decreto Estadual n. 8.468, de 8 de setembro de 1976. Aprova o Regulamento da Lei n. 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente. Diário Oficial do Estado de São Paulo, São Paulo, 09 set. 1976. Disponível em: <<http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/1976/decreto-846808.09.1976.html>>. Acesso em: 05 de dez. de 2018.
 16. SNYDER, S.A.et el. Role of membranes and activated carbon in the removal of endocrine disruptors and pharmaceuticals. Desalination, v.202, 2007.
 17. TIAN, J.; ERNST, M.; CUI, F.; JEKEL, M. Correlations of relevant membrane foulants with UF membrane fouling in different waters. Water research, v. 47, n. 3, p. 1218-1228, 2013.