

I-147 – REMOÇÃO DE FERRO E MANGANÊS POR NANOFILTRAÇÃO: COMPARATIVO DOS CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO COM SISTEMA CONVENCIONAL

Renata Pio Maximila⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Técnica em Edificações da Companhia Riograndense de Saneamento CORSAN-RS.

Endereço⁽¹⁾: Rua Alberto Torres, 223/203 – Cidade Baixa – Porto Alegre - RS - CEP: 90050-080 - Brasil - Tel: +55 (51) 3215-5509 - e-mail: remaximila@gmail.com

RESUMO

O ferro e o manganês, quando presentes na água de abastecimento público, causam rejeição por parte dos consumidores devido a cor e o sabor desagradável. A presença desses metais também geram inconvenientes em adutoras e redes de distribuição. Eles formam incrustações nas paredes das tubulações reduzindo a capacidade de escoamento. Assim, o presente trabalho trata sobre a comparação dos custos de implantação entre os processos de filtração por membrana do tipo nanofiltração e o tratamento convencional de oxidação por aeração seguida de filtração para a remoção de ferro e manganês presentes nas águas subterrâneas do município de Capivari do Sul/RS. Primeiramente, através da revisão bibliográfica foram abordados os diversos processos de tratamento para a remoção de ferro e de manganês nas águas de abastecimento. Posteriormente, foi analisado os parâmetros e as características da água destinada ao abastecimento do município de Capivari do Sul/RS, como também, o Projeto Executivo do Sistema de Abastecimento de Água desenvolvido pela CORSAN. A caracterização da membrana de nanofiltração, para obter os custos de implantação, foi embasada pela revisão bibliográfica. Assim, a avaliação dos custos de investimentos e operacionais dos sistemas propostos foram obtidos através do orçamento desenvolvido pela CORSAN e através de consulta a empresa especializada. A comparação econômica foi desenvolvida pelo método do Valor Presente Líquido (VPL) e pela análise do Custo Marginal. Através dos resultados, pode-se verificar que os processos de separação por membranas possuem grande potencial econômico para a utilização dessa tecnologia no tratamento de água para abastecimento.

PALAVRAS-CHAVE: Remoção de Ferro e Manganês, Oxidação, Aeração e Filtração, Nanofiltração, Custos de Implantação.

INTRODUÇÃO

A água é um dos elementos fundamentais para a sobrevivência dos seres vivos. Entretanto ela não é encontrada na natureza na sua forma que possa ser consumida, sendo necessário transformá-la em potável para o consumo humano (LIBÂNIO, 2010). A qualidade da água é determinada através dos parâmetros físicos, químicos, biológicos e radiológicos definidos pela Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011).

Conforme Richter (2009), o ferro e o manganês geralmente são encontrados juntos na natureza, de origem da dissolução de compostos de rochas e solos. Ambos os elementos são importantes aos seres vivos, embora quando presentes na água de abastecimento público, geram alguns inconvenientes tanto nas adutoras e nas redes de distribuição formando incrustações nas paredes das tubulações diminuindo, assim, a capacidade de escoamento; como também rejeição por parte dos consumidores, devido à presença de cor e sabor desagradáveis na água. Ainda podem causar manchas em roupas, aparelhos sanitários e utensílios domésticos; também afetam alguns processos industriais (DI BERNARDO; SAGOBAL, 2008).

Os processos conhecidos para o controle ou a remoção do ferro e manganês das águas destinadas ao abastecimento público são: formação de precipitado e filtração, troca iônica, estabilização com polifosfato, e através de um meio filtrante à base de zeólitos. O processo de oxidação para a formação de precipitado é realizado através da aeração ou utilizando oxidantes químicos como, por exemplo, o permanganato de potássio, o cloro e o dióxido de cloro (SAMPAIO, 1995).

A seleção da tecnologia mais adequada e econômica para a remoção dos metais deve ser determinada considerando diversos fatores (RAMOS, 2010). Sendo assim novas técnicas vem sendo empregadas no tratamento de água, como, por exemplo, a separação por membranas de micro, ultra, nanofiltração e osmose reversa. Os processos de separação por membranas, na área de saneamento básico, foram inicialmente projetados para a dessalinização de água do mar por sistemas de osmose reversa no início da década de 60 (SCHNEIDER; TSUTIYA, 2001).

Libânio (2010) define membrana como uma fina camada que separa duas soluções com a finalidade de barrar o transporte de substâncias presentes nestas soluções quando aplicada uma força externa, ou seja, são sistemas de separação de materiais, pois não ocorre transformação química ou biológica dos componentes durante o processo de filtração.

A nanofiltração é capaz de separar moléculas de massa molar entre 500 e 2.000 Dalton e tem condições de trabalhar com pressões mais baixas, quando comparada com as membranas de osmose reversa (HABERT et. al., 2006). A tecnologia da nanofiltração apresenta grande potencial para a remoção de matéria orgânica dissolvida, moléculas de cátions e ânions divalentes (FERREIRA, 2010).

OBJETIVO

O objetivo principal deste trabalho é comparar os custos de implantação entre a nanofiltração e a oxidação por aeração seguida de filtração para as remoções de ferro e de manganês presentes nas águas subterrâneas do município de Capivari do Sul. Para tanto foi necessário caracterizar a água subterrânea em função das concentrações de ferro e manganês; determinar e caracterizar a membrana de nanofiltração; estimar os custos de implantação, de operação e manutenção dos sistemas de tratamento.

METODOLOGIA

Neste trabalho, a comparação dos custos do sistema de tratamento de água por nanofiltração foi analisado com base no projeto desenvolvido pela Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN) para a ampliação do Sistema de Abastecimento de Água (SAA) do município de Capivari do Sul, o qual consiste no tratamento de água através do processo de aeração seguida de filtração.

Para o desenvolvimento do trabalho, foram levantados os parâmetros e as características da água a ser tratada. Também foram buscados os dados suficientes para caracterizar a membrana a ser utilizada no projeto.

Sequencialmente foi caracterizado o sistema atual de produção de água do município em estudo. Assim, puderam ser observadas as necessidades de buscar tecnologias alternativas que possam ser mais eficientes e econômicas para o tratamento de águas subterrâneas com a presença de ferro e manganês. Após a análise do sistema existente, foi caracterizado o projeto proposto para a ampliação do SAA desenvolvido pela CORSAN.

Após a caracterização do sistema estudado, foi realizada a avaliação dos custos de implantação do sistema de nanofiltração. Nessa etapa, contataram-se empresas que atuam na área de tratamento de água com a utilização de membranas de filtração.

De posse de todas as informações do projeto, foi possível avaliar os custos e comparar os resultados entre os processos de tratamento de água, buscando identificar a melhor alternativa econômica.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA

Capivari do Sul situa-se no litoral norte do estado do Rio Grande do Sul, a 78 km da capital. A região apresenta, em seu sistema de aquíferos, uma variação da qualidade da água devido a superposição dos aquíferos e a grande variedade de sedimentos (CORSAN, 2012). A figura 1 apresenta a localização do município referente ao estado.



Figura 1: Localização de Capivari do Sul

A figura 2 resume o resultado dos parâmetros físico-químicos para os poços CPV-01 e CPV-02. Esses parâmetros permitem avaliar a qualidade da água bruta disponível no município. A figura, também, apresenta as concentrações máximas permitidas pela Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde.

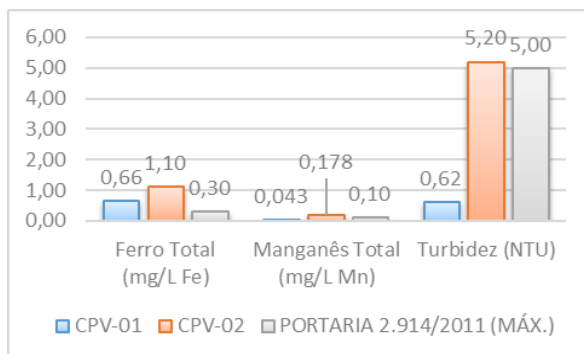


Figura 2: Qualidade da água bruta do município de Capivari do Sul

Pela análise da figura 2, a água da região apresenta-se com concentrações de ferro e manganês acima dos limites aceitáveis pela legislação vigente. Devido à alta concentração desses metais, os mesmos conferem à água cor e sabor tornando-a desagradável ao consumo.

SISTEMA DE PRODUÇÃO

O sistema de abastecimento atual do município é composto por duas unidades de poços tubulares, mas apenas um encontra-se ativo (poço CPV-01). O poço CPV-02 foi desativado em razão do reservatório apresentar-se bastante danificado pela ferrugem, sendo que serve somente como reserva técnica. A vazão média captada pelo poço ativo é em torno de 40 m³/h (entre 11 e 12 L/s) e com máxima de 60 m³/h (aproximadamente 17 L/s).

O tratamento de água é simplificado e realizado junto ao poço CPV-01, onde encontra-se instalada uma Estação de Tratamento de Água (ETA) provisória. Ela é composta por aerador de bandeja e filtro para remover o ferro e o manganês da água subterrânea captada, minimizando o problema (CORSAN, 2012). A figura 3 apresenta o fluxograma do sistema existente e provisório do município de Capivari do Sul.

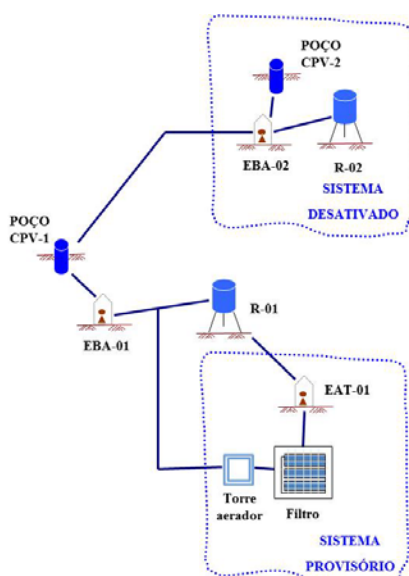


Figura 3: Sistema produtor existente e provisório

Com o objetivo de melhorar a qualidade de água distribuída e suprir a demanda de consumo da população no município, a CORSAN elaborou um projeto que consiste na substituição do sistema provisório pela reativação do poço CPV-02, com vazão de 20 L/s, o qual subsidiará água para a nova ETA. Sendo que o poço CPV-01, ficará desativado servindo somente como reserva técnica. A ETA contará com uma torre de aeração, do tipo bandeja, seguida de filtração, que junto com a pré-cloração, será responsável pela oxidação dos metais (CORSAN, 2012). A figura 4 apresenta o fluxograma do novo sistema proposto para o município de Capivari do Sul.

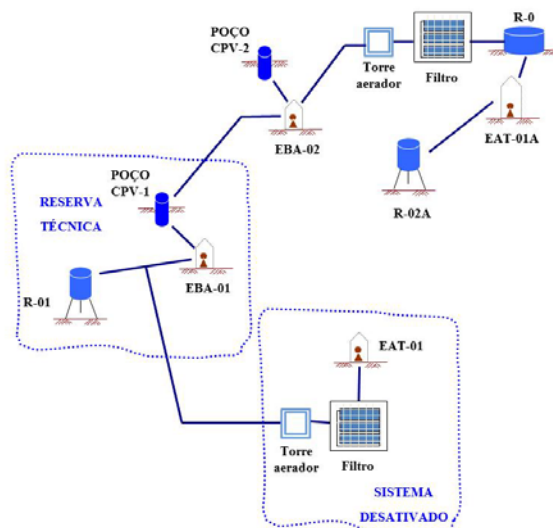


Figura 4: Sistema produtor projetado

SISTEMA DE NANOFILTRAÇÃO

O projeto do sistema de nanofiltração foi dimensionado para a mesma vazão da ETA projetada pela CORSAN, ou seja, 20 L/s. Esta vazão é suficiente para atender a demanda do município de Capivari do Sul no final do período de alcance, ano 2040.

O processo de tratamento com o sistema de nanofiltração deverá ser capaz de reduzir as concentrações de ferro e de manganês para valores aceitáveis. Portanto, o sistema de separação por membrana por nanofiltração é recomendado para a situação, tendo em vista sua alta eficiência na remoção desses metais.

A água bruta será captada no poço CPV-02, com vazão nominal de 20 L/s (72.000 L/h), e chegará ao sistema de separação por membrana através de uma adutora em PVC DN 150, conforme previsto no projeto da CORSAN (2012). O sistema de separação por membrana deverá ser constituído por bomba centrífuga, vaso de pressão contendo as membranas de nanofiltração, manômetro, medidor de vazão e painel elétrico, além de tubulações, válvulas, conexões e acessórios para a operacionalidade do sistema (DI BERNARDO, et al., 2010). A figura 5 apresenta a configuração do sistema de nanofiltração projetado.

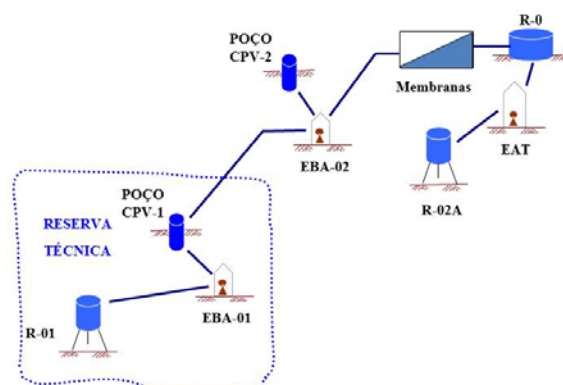


Figura 5: Configuração do sistema de nanofiltração

AValiação DOS CUSTOS

O sistema convencional projetado pela CORSAN é constituído pela torre de aeração do tipo bandeja, pelo filtro, pela casa de química e pelo reservatório de lavagem dos filtros. Os custos de investimentos para o sistema foram obtidos através do orçamento desenvolvido pela CORSAN para o Projeto Executivo do SAA de Capivari do Sul. O custo de investimento refere-se aos gastos necessários para implantar o sistema.

Para efeito de comparação, os custos obtidos no projeto da CORSAN elaborado no ano de 2012 foram atualizados através do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) e, também, mediante consulta a fornecedores especializados, conforme procedimento adotado nos orçamentos da CORSAN.

Para a obtenção do custo de operação foram considerados: pessoal, produtos químicos, energia elétrica e reposição de alguns materiais e equipamentos. Os custos com a mão-de-obra foram obtidos através das tabelas de salários da CORSAN e incluído os encargos sociais. Esses gastos compreendem os custos relacionados à operação e à conservação das instalações e equipamentos.

Os custos foram obtidos através do setor operacional da CORSAN e, os itens de reposição de materiais e equipamentos foram considerados os mais relevantes do sistema. Os principais gastos com a reposição foram: dosadores de produtos químicos a cada 7 anos, equipamentos de laboratório a cada 10 anos e meio filtrante a cada 10 anos.

Em relação ao sistema de nanofiltração, os custos associados ao investimento do sistema foram obtidos mediante consulta a empresa *GE Power & Water* e considerado o orçamento de uma casa de química baseado somente na parte civil de implantação.

A obtenção dos custos operacionais do sistema de nanofiltração também foi obtido através da empresa *GE Power & Water*. São previstos gastos com mão-de-obra, produtos químicos, energia elétrica e a reposição das membranas a cada 3 anos e com cartuchos de filtros a cada mês.

A comparação econômica dos sistemas foi feita considerando os valores de investimento e as despesas de manutenção e operação ao longo do plano. O método utilizado para a avaliação dos custos foi empregado o método do Valor Presente Líquido (VPL) e a análise do Custo Marginal (CM).

A equação 1 representa o VPL que consiste em transferir para o instante atual todos os custos esperados a uma determinada taxa de juros, a qual é considerada 12%, conforme adotado nos estudos da CORSAN.

$$VPL = X / (1 + i)^n \quad \text{equação (1)}$$

Onde: VPL = valor presente líquido, R\$; X = valor de investimento e/ou valor dos gastos com operação e manutenção, R\$; i = taxa de retorno de capital, adotado 12 % a.a.; n = horizonte de planejamento.

O Custo Marginal é expresso na equação 2, a qual considera o valor do metro cúbico da água produzida.

$$CM = (VPL_{inv} + VPL_{op}) / VP_{VP} \quad \text{equação (2)}$$

Onde: CM = custo marginal, R\$/m³; VPL_{inv} = valor presente líquido de investimento, R\$; VPL_{op} = valor presente líquido dos custos de operação, R\$; VP_{VP} = valor presente de volume produzido de água, m³.

APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Na tabela 1 são apresentadas as principais unidades e componentes do sistema convencional com os respectivos custos de implantação para a remoção de ferro e de manganês com capacidade de 20 L/s de água tratada. Estes custos foram obtidos a partir do orçamento elaborado pela CORSAN e atualizados pelo SINAPI e através de consulta a fornecedores.

Tabela 1: Custos de investimento para o sistema convencional

COMPONENTES	CUSTOS (R\$)	
	ORÇAMENTO NOV/2012	ORÇAMENTO JAN/2018
Bloco Hidráulico	R\$ 675.073,34	R\$ 819.235,46
Casa de Química	R\$ 159.159,31	R\$ 241.186,22
Reservatório de Lavagem dos Filtros (50 m ³)	R\$ 123.848,27	R\$ 141.795,05
TOTAL	R\$ 958.080,92	R\$ 1.202.216,73

Na tabela 2 estão apresentados os custos de investimento para o sistema de nanofiltração, o qual foi considerado como módulo de membranas com capacidade para tratar uma vazão de 20 L/s e uma casa de química. Os custos foram obtidos através do contato com a empresa GE *Power & Water*.

Tabela 2: Custos de investimento para o sistema de nanofiltração

COMPONENTES	CUSTOS (R\$)
	OUT/2016
Módulo de Nanofiltração	R\$ 1.702.162,49
Casa de Química	R\$ 155.706,10
TOTAL	R\$ 1.857.868,59

Na figura 6 pode-se verificar a comparação dos custos de investimento para os sistemas de tratamento.

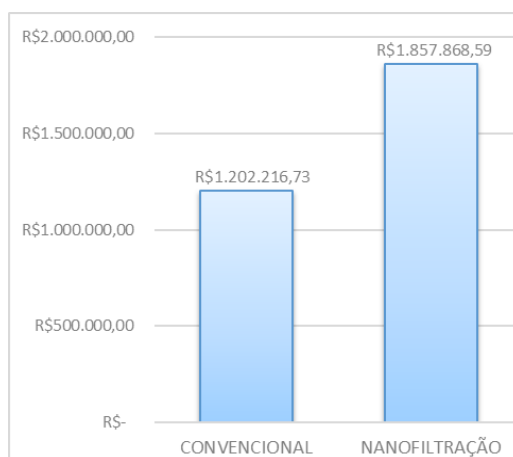


Figura 6: Comparação dos custos de investimento

Analizando a figura 6, verifica-se que o sistema convencional de tratamento para a remoção de ferro e de manganês apresenta custo de investimento mais atrativo que o sistema de nanofiltração. Contudo, o sistema de nanofiltração, conforme Castañeda (2010), apresenta alta eficiência para a remoção dos metais presentes na água bruta, tornando-a adequada ao consumo humano.

Os custos relativos à operação dos sistemas foram obtidos considerando as despesas com reposição de material, mão-de-obra, produtos químicos e energia elétrica em função do volume produzido ao longo do horizonte de projeto, conforme mostra a figura 7.

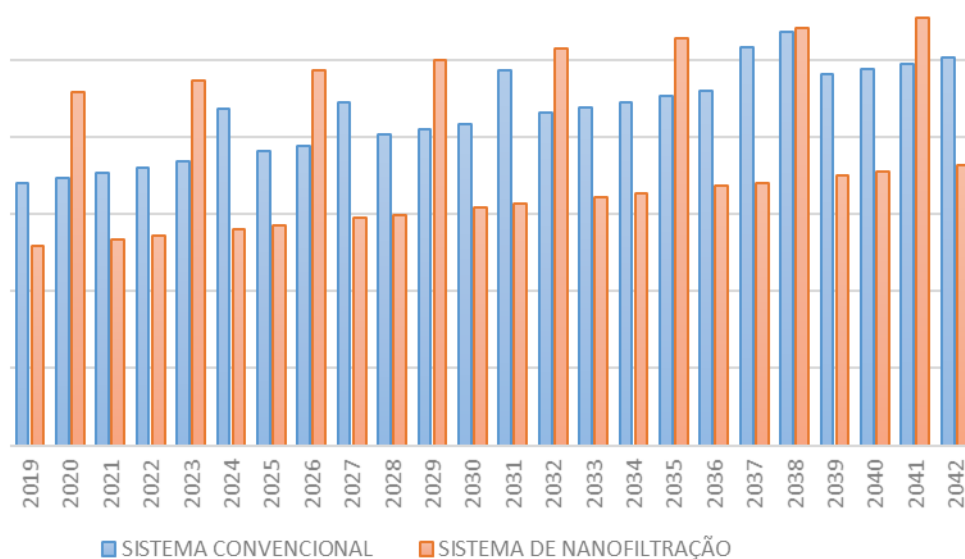


Figura 7: Comparação dos custos de operação

A partir da figura 7, observa-se que os custos de operação ao longo do horizonte do projeto para o sistema de nanofiltração tornam-se mais atrativos. Embora haja elevados custos com a reposição das membranas, o sistema de nanofiltração ainda apresenta custos operacionais mais atrativos que o sistema convencional. Ressalta-se que o sistema convencional também apresenta elevados custos com a reposição de materiais.

A partir dos custos totais de investimento e operacionais para os sistemas foi desenvolvido o cálculo referente ao valor presente, o que permitiu determinar o custo marginal dos sistemas de tratamento. Na figura 8 é representada a comparação dos custos marginais para os sistemas de tratamento convencional e nanofiltração.

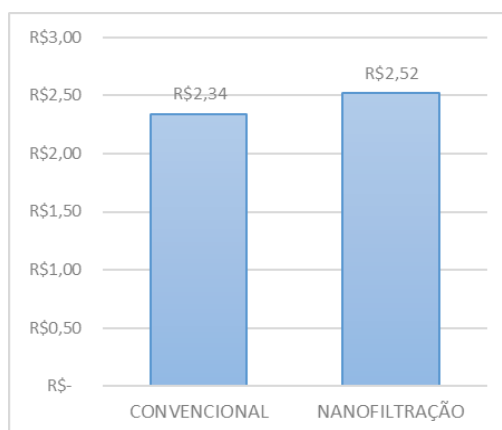


Figura 8: Custos marginais.

Analisando os valores, verifica-se que os custos de produção dos sistemas equiparam-se, mostrando o potencial econômico do sistema de separação por nanofiltração para a remoção de ferro e manganês no tratamento de água para abastecimento público.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho comparou os custos de implantação do sistema convencional para a remoção de ferro e de manganês do município de Capivari do Sul com o sistema de nanofiltração. Para isso, foi obtido o custo de investimento e operação dos sistemas de nanofiltração através de consulta à empresa especializada. Para o sistema convencional, os custos foram obtidos através do Projeto Executivo do SAA do município de Capivari do Sul e baseado nas condições operacionais da CORSAN.

Quando comparados os custos de investimento, o sistema de nanofiltração apresenta valor inicial (R\$ 1.857.868,59) superior ao sistema convencional (R\$ 1.202.216,73). Porém os custos operacionais ao longo do plano tornam o sistema de nanofiltração competitivo com o convencional, mesmo havendo a necessidade de investimentos com a reposição das membranas a cada 3 anos.

A avaliação comparativa entre os sistemas de nanofiltração e o tratamento convencional, baseada nos custos de produção, demonstra o menor custo associado ao sistema convencional (R\$ 2,34/m³). Contudo, o sistema de nanofiltração mostra-se bastante competitivo, com um custo de tratamento de R\$ 2,52/m³.

Esses resultados demonstram o potencial de utilização dos processos de separação por membranas para o tratamento de água para abastecimento, ao mesmo tempo em que eliminam algumas distorções sobre a percepção de seus custos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, 2011.
2. CASTAÑEDA, D. M. A. Remoção de sulfeto de hidrogênio, ferro e manganês de águas de abastecimento através dos processos de dessorção gasosa, nanofiltração e oxidação com permanganato de potássio. 2010. 109 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Porto Alegre, 2010.
3. COMPANHIA RIOGRANDENSE DE SANEAMENTO. Projeto Executivo do Sistema de Abastecimento de Água (SAA) de Capivari do Sul/RS: Projeto Hidromecânico/Arquitetônico – Memorial Descritivo. Porto Alegre, 2012. v. 1.
4. DI BERNARDO, L.; SABOGAL PAZ, L. P. Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água. 1. ed. São Carlos: Editora LDiBe Ltda., 2008. v. 1 e 2.

5. DI BERNARDO, L.; MINILLO, A.; DANTAS, A. D. B. Florações de algas e de cianobactérias: suas influências na qualidade da água e nas tecnologias de tratamento. 1 ed. São Carlos: Editora LDiBe Ltda., 2010.
6. FERREIRA, M. A. S. Nanofiltração à escala laboratorial na remoção de cianotoxinas. 2010. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Universidade do Algarve, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Faro, 2010.
7. HABERT, A. C.; BORGES, C. P.; NOBREGA, R. Processos de separação com membranas. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora E-papers, 2006.
8. LIBÂNIO, M. Fundamentos de qualidade e tratamento de água. 3. ed. Campinas: Átomo, 2010.
9. RAMOS, M. H. C. Remoção de cor, ferro e manganês de água com matéria orgânica dissolvida por pré-oxidação com dióxido de cloro, coagulação e filtração. 2010. 114 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) - Universidade de Ribeirão Preto, Tecnologia Ambiental, Ribeirão Preto, 2010.
10. RICHTER, C. A. Água: métodos e tecnologia de tratamento. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2009.
11. SAMPAIO, C. A. A. Remoção de ferro e manganês pelo pré-tratamento de águas de abastecimento com permanganato de potássio. 1995. 159 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Campinas, 1995.
12. SCHNEIDER, R. P; TSUTIYA, M. T. Membranas filtrantes para tratamento de água, esgoto e água de reuso. 1. ed. São Paulo: Editora ABES, 2001.