



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMIÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO DE ENGENHARIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA QUÍMICA

ALEXANDRE LOPES DE MACÊDO

**AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA COMPACTO DE TRATAMENTO DE ÁGUA
POR OSMOSE INVERSA APLICADO EM UM TROCADOR DE CALOR.**

MOSSORÓ
2018

ALEXANDRE LOPES DE MACÊDO

**AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA COMPACTO DE TRATAMENTO DE ÁGUA
POR OSMOSE INVERSA APLICADO EM UM TROCADOR DE CALOR.**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semiárido como
requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Química.

Orientador: Álvaro Daniel Teles
Pinheiro, Prof. Dr.

MOSSORÓ

2018

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

M139a Macêdo, Alexandre Lopes de.
AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA COMPACTO DE TRATAMENTO
DE ÁGUA POR OSMOSE INVERSA APLICADO EM UM
TROCADOR DE CALOR. / Alexandre Lopes de Macêdo. -
2018.
40 f. : il.

Orientador: Álvaro Daniel Teles Pinheiro.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Química, 2018.

1. Água. 2. Tratamento. 3. Simulação. 4. Osmose
inversa. 5. Trocador de calor. I. Pinheiro,
Álvaro Daniel Teles , orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

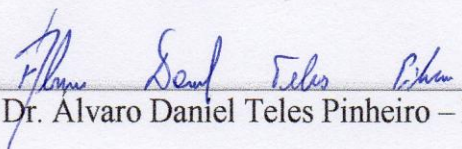
ALEXANDRE LOPES DE MACÊDO

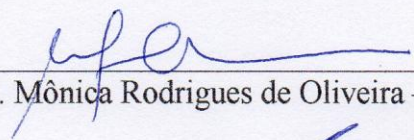
**AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA COMPACTO DE TRATAMENTO DE ÁGUA
POR OSMOSE INVERSA APLICADO A UM TROCADOR DE CALOR**

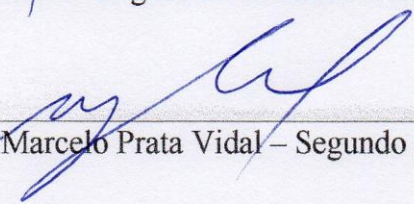
Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Universidade Federal
Rural do Semiárido – UFERSA, Campus
Mossoró para a obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Química.

Defendida em: 12 / 04 / 2018.

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. Alvaro Daniel Teles Pinheiro – Presidente – UFERSA


Profa. Dra. Mônica Rodrigues de Oliveira – Primeiro membro – UFERSA


Prof. Dr. Marcelo Prata Vidal – Segundo membro – UFERSA

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado forças para nunca ter desistido do curso mesmo com todas dificuldades encontradas desde o começo com C&T.

Agradeço a meu orientador: professor Álvaro, pela paciência e pelos conselhos para a formulação desse trabalho.

Agradeço a professora Elizangela pelos conselhos e ajuda na pesquisa bibliográfica e na estatística dos dados.

Agradeço ao João Vitor pela grande ajuda na simulação, sem ela não teria ficado tão boa.

Agradeço ao Alfredo pela ajuda durante o estágio, e ao Herbert por ter permitido o uso do nome da Tecnoplus Ambiental em meu trabalho.

Agradeço a todos os meus professores que, de uma forma ou de outra, contribuíram para o meu crescimento, tanto profissionalmente como moralmente.

Agradeço aos meus pais, Zenilda e Ubiratan, por ter me dado apoio, carinho e força durante todo o decorrer da minha graduação. Amo muito eles.

Agradeço também a minha irmã, Alissandra, minha namorada, Hizana, e todos os meus amigos por ter me proporcionado momentos de descontração no meio de tanto estresse.

Do mesmo modo que o metal enferruja com a ociosidade e a água parada perde sua pureza, assim a inércia esgota a energia da mente.

Leonardo da Vinci

RESUMO

A água é uma substância fundamental para a sobrevivência da sociedade que conhecemos hoje, sendo utilizada tanto para alimentação como para o setor industrial. Além disso, a mesma apresenta uma característica peculiar de dissolver substâncias que estiverem expostas a ela. Assim, se faz necessário a utilização de processos de tratamento para que se consiga separar a água de boa qualidade das impurezas atendendo aos parâmetros necessários para seu uso pretendido. Uma das formas de tratamento mais eficiente é o processo de osmose inversa, e quando atrelado a outros equipamentos como abrandadores, consegue-se uma água adequada para equipamentos que utilizam troca térmica como princípio. O trabalho em questão se preocupou em analisar e simular um processo compacto de tratamento de água na região de Mossoró-RN.

Palavras-chave: Água. Tratamento. Simulação. Osmose inversa. Trocador de calor.

ABSTRACT

Water is a fundamental substance for the survival of the society we know today, being used for both food and industry. In addition, it has a peculiar feature of dissolving substances that are exposed to it. Thus, it is necessary to use treatment processes so that it is possible to separate good quality water from the impurities according to the parameters required for the intended use. One of the most efficient forms of treatment is the reverse osmosis process and when coupled with other equipment as softeners, adequate water is obtained for equipment that uses thermal exchange as a principle. The work in question was concerned with analyzing and simulating a compact process of water treatment in the region of Mossoró-RN.

Keywords: Water. Treatment. Simulation. Reverse osmosis. Heat exchanger.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Regiões Hidrográficas Brasileiras.....	6
Figura 2 – Representação da estrutura do complexo EDTA com íon metálico.	9
Figura 3 – Formula estrutural do Negro de Eriocromo T.....	9
Figura 4 – Representação de uma resina catiônica.....	13
Figura 5 – Fluxograma do sistema compacto da Tecnoplus Ambiental.....	15
Figura 6 – Condutivímetro de bolso meter(hold) TDS e EC.....	17
Figura 7 – Estojo de teste Genco Cl/pH	18
Figura 8 – Simulação do sistema de tratamento de água.....	25
Figura 9 – Fluxograma da quantidade de água que entra e sair dos filtros de osmose inversa.....	26
Figura 10 – Fluxograma da recirculação da mistura entre a água do rejeito da osmose e a água bruta.	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação da Dureza.....	8
Tabela 2 – Exemplos de condutividade elétrica de diversas fontes a 25 °C.....	10
Tabela 3 – Dados da água bruta.....	19
Tabela 4 – Dureza após o abrandamento.....	20
Tabela 5 – Análises da água após o tratamento com os filtros de osmose inversa.	21
Tabela 6 – Análise da água do bland.....	22
Tabela 7 – Água do reservatório de distribuição.....	22
Tabela 8 – Análise realizada na torre de resfriamento semiaberta.	23

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	3
2.1. A Água e suas características.....	3
2.2. Legislação e normas que regem o uso de água	5
2.3. Água Subterrâneas	5
2.3.1. No Brasil.....	5
2.3.2. Na cidade de Mossoró	7
2.4. Dureza da água.....	7
2.5. Condutividade Elétrica da água	9
2.6. Potencial Hidrogeniônico (pH)	11
2.7. Filtro de carvão ativado	12
2.8. Trocador iônico.....	12
2.9. Osmose Inversa.....	14
2.10. Sistema de tratamento da Tecnoplus Ambiental	14
3. METODOLOGIA	16
3.1. Obtenção da Dureza na água.....	16
3.2. Obtenção da condutividade elétrica da água.....	17
3.3. Obtenção do pH e cloro residual livre	17
3.4. Simulação.....	18
4. RESULTADOS E DISCURSSÕES.....	19
4.1. Análises do físico-químicas do sistema de tratamento	19
4.2. Simulação no SuperPro Designer	23
4.3. Proposta de reaproveitamento do rejeito da osmose.....	26
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	29
REFERENCIAS	30

1. INTRODUÇÃO

A água é um dos recursos de grande relevância para o mundo, sendo responsável por muitas guerras desde o início da história da humanidade. Como a água é fundamental para a vida, todo o meio é influenciado pela qualidade dessa substância que é fornecida para o meio biótico, ou seja, os impactos ambientais que o homem vem causando no meio ambiente interfere diretamente na qualidade da água disponível para o consumo humano.

A fauna e a flora adquirem características próprias para a sobrevivência em uma região com escassez ou abundância dessa fonte de vida provando que o meio ambiente se molda em torno da presença da água. Animais, plantas, relevo, clima e até mesmo homem procuram modificar-se para conseguir tal recurso.

A Terra é, em sua grande parte, recoberta por água, sendo que 97,24 % está na forma de água salgada, localizadas nos oceanos, e 2,76 % é água doce. 2,14 % da água doce está na forma sólida (gelo), em geleiras e calotas polares, e 0,61 % no subsolo (consideradas como águas subterrâneas), rios e atmosfera (SILVA, 2015). Assim, 1,5 bilhão de quilômetros cúbicos de água cobrem três quartos da superfície terrestre. No entanto apenas 9 mil quilômetros cúbicos estão disponíveis para uso industrial, agrícola e consumo humano (LIRA, 2014).

O Brasil é o país que detém a maior reserva de água doce do mundo, cerca de 8 %. Porém o país não apresenta uma distribuição uniforme desse recurso em todo seu território, sendo que na região amazônica se encontra apenas 7 % da população e 80 % dos recursos hídricos brasileiros. Já na região nordeste, encontram-se 23 % da população, mas só apresenta 3,3 % da água do país. A má distribuição hídrica dificulta o desenvolvimento da região e, conseqüentemente, do país (SOARES, 2005).

A região nordeste brasileira ainda apresenta outro fator que dificulta o seu desenvolvimento e que implica diretamente na distribuição de água para a população: o clima. Segundo Soares et al. (2005), 962.857,3 km² da região nordeste, estão localizados na região conhecida como polígono das secas e 841.260,9 km² da região são classificados como semiáridos.

Apesar de sua importância, a sociedade continua promovendo o crescimento industrial insustentável, insistindo em desperdiçar água e provoca a destruição de muitos reservatórios naturais. Nos últimos anos percebeu-se que a água potável é um bem finito, e devido a sua escassez em algumas áreas, surgiram novas tecnologias de tratamento de

água e efluentes com o objetivo de se buscar novas fontes e minimizar o impacto ambiental causado pelos contaminantes industriais.

Segundo Amorim (2000), um dos processos de tratamento de água salobra mais utilizados, na região Nordeste, é o sistema de osmose inversa devido a sua continuidade do processo, ocupa uma área reduzida, possibilidade de reaproveitamento dos efluentes e boa qualidade da água tratada. No entanto, segundo Campos (2007), esse processo não é barato sendo viável apenas para grandes volumes de água e tarifas mais elevadas na comercialização da água.

Quando se deseja purificar a água por esse método, pretende-se fazer o caminho inverso da osmose. Esse caminho é atingido quando se aplica uma determinada pressão contrária ao caminho natural até que se tenha a passagem da água de uma região mais concentrada para menos concentrada (MONTEIRO, 2009).

A água tratada por osmose inversa é uma boa alternativa para retirada dos sais que estão contidos em muitas das águas da região nordeste, principalmente na região potiguar, localizada no RN, onde a maior quantidade da água é proveniente de poços e com alto grau de salinidade (SILVA, 2012). Devido aos longos períodos de seca, a população e as empresas buscam o fornecimento de água potável através de poços profundos.

No entanto, a característica da região Potiguar é de uma água salobra com altos teores de sais. A retirada desses sais é de fundamental importância para o pleno funcionamento de equipamentos industriais, que utilizam a troca térmica como princípio (SILVA, 2013). Nesse contexto, surge um mercado promissor, no qual várias empresas vêm se especializando no ramo de tratamento de água e efluentes.

A Tecnoplus Ambiental é uma empresa especializada no ramo ambiental, tendo como principal objetivo contribuir com a preservação do meio ambiente, o bem-estar da sociedade e a busca pela eficiência energética no país. Sua sede está localizada na cidade de Fortaleza - CE, no entanto a empresa apresenta filiais com seus equipamentos em vários estados brasileiros com foco no Norte e no Nordeste do país. O seguinte trabalho teve por objetivo modelar e simular, através de softwares computacionais, o sistema de osmose inversa da Tecnoplus Ambiental.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. A Água e suas características

A proposição da fórmula da água foi dada em 1804 por Gay-Lussac e Alexander Humboldt que propuseram um modelo de uma parte de oxigênio para cada 2 partes de hidrogênio. O H_2O é amplamente conhecido até por pessoas com pouca instrução no ensino da química sendo o isótopo H_2O^{16} o mais abundante na Terra (LIRA, 2014).

Devido a sua capacidade de formar pontes de hidrogênio, ou seja, de conseguir se estabilizar de maneira organizada e se ligar fortemente entre si, a água é encontrada em sua forma natural nos três estados da matéria a pressão ambiente. Ela se apresenta, em sua grande maioria, na forma líquida presente nos oceanos, rios, lagos e aquíferos. Além disso, a substância é encontrada no estado sólido (gelo) em geleiras e em grandes altitudes como montanhas, e na forma de gás (vapor) presente por toda a atmosfera.

A massa específica da água encontra seu valor máximo a uma temperatura de 4 °C. Essa propriedade permite a existência de vida aquática mesmo em regiões com temperatura muito baixas. Em lagos, por exemplo, a água com maior densidade (4 °C) irá para o fundo do reservatório permanecendo a essa temperatura mesmo que a superfície esteja com temperatura mais baixas do que o ponto de congelamento (0 °C). Essa anomalia térmica da água pode ser explicada graças aos espaços vazios existentes entre as moléculas (ALBERTINO, 2006).

A viscosidade da água, por sua vez, segue a regra geral para essa substância, onde essa propriedade é inversamente proporcional a temperatura. Ou seja, quanto maior a temperatura menor será a viscosidade do líquido. Essa propriedade está intimamente relacionada com a tensão superficial. A poluição pode afetar diretamente essas duas características prejudicando a vida dos microrganismos que dela depende (LIRA, 2014).

Uma característica muito apreciada pelas indústrias é o alto calor específico que a água possui. O calor específico é a quantidade de energia requerida, em relação a quantidade de massa (1 g), para elevar 1 °C (14,5 °C a 15,5 °C) a temperatura de uma substância. Nesse contexto, foi definido a água como referência e seu valor estabelecido de 1 cal/g.°C. Em contrapartida, a condutividade térmica da água pura possui um valor extremamente baixo (LIRA, 2014).

A condutividade elétrica é uma medida da capacidade de transferências de elétrons, ou seja, eletricidade pela água. Ela está intimamente ligada a quantidade de substâncias dissolvidas e seu grau de dissociação. Quanto maior a concentração de íons,

maior será a capacidade de transmitir a corrente elétrica. É medida em Siemens (S) por unidade de comprimento.

Com relação a concentração de gases, segundo Albertino (2006), a concentração máxima de oxigênio, nitrogênio e gás carbono que podem se dissolver na água são de 9 mg/L de O₂, 14 mg/L de N₂ e 0,5 mg/L de CO₂. Porém essa concentração raramente atingirá esses valores máximos visto que a pressão e a temperatura de cada região influenciam diretamente na solubilidade dos gases. Segundo a resolução CONAMA 357/05 e 396/08, o teor de oxigênio dissolvido para águas doce (classe I) é de 6 mg/L podendo variar para cada reservatório.

O potencial hidrogeniônico (pH) e a temperatura podem influenciar na solubilidade de outras substâncias e na proliferação de microrganismos na superfície de lagos e rios. Esse fenômeno é conhecido como eutrofização, ou seja, é a proliferação exagerada de microrganismos devido a nutrientes advindos de fontes poluidoras. Esse tipo de situação causa a morte do lago ou rio visto que toda a qualidade da água será alterada.

Além disso, todos esses parâmetros influenciam na hora de dar um destino para água de um determinado reservatório. O que leva a máxima: “Nem toda água é igual”. Padrões de qualidade são exigidos para cada função que se queira dar a esse solvente. Por exemplo, para consumo humano a água deve possuir minerais para que se possa suprimir a necessidade do corpo. No entanto, para uso industrial esse tipo de água não possui serventia visto que pode alterar as características de um determinado equipamento ou produto. Cada equipamento que utilize a água necessita que este esteja dentro de um padrão de qualidade que não o danifique a médio ou a longo prazo. As tecnologias mais utilizadas para o tratamento da água são a filtração, resinas de troca iônica, osmose inversa, cal sodada, e destilação.

No processo de filtração partículas sólidas, presentes na água, são retidas objetivando remover microrganismos e substâncias orgânicas e inorgânicas contidas no meio líquido (DUARTE, 2011). A filtração, normalmente, é utilizada em conjunto com outros processos de tratamento de água como forma de garantir a retirada de determinada substância.

Já no processo de troca-iônica aplicado ao tratamento de efluentes, o efluente é passado por uma camada de resina onde ocorre a remoção de íons indesejáveis, que são substituídos por uma quantidade equivalente de espécies iônicas que apresentam um menor potencial de perigo quando exposto a contato humano (RIANI, 2008).

2.2. Legislação e normas que regem o uso de água

No Brasil a resolução CONAMA 357/05 e 430/11 estabelece parâmetros sobre a classificação de corpos d'água e sobre as condições de lançamento de efluentes. Já a resolução 396/08, do mesmo órgão, estabelece diretrizes sobre as classificações ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e do seu controle. Um ponto em comum entre as três resoluções citadas é que a responsabilidade da proteção, análise e medidas preventivas é do poder público sendo passível de punição de acordo com a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998.

A Lei nº 9433 de janeiro de 1997, conhecida como “Lei das Águas”, estabelece a política nacional de recursos hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Essa lei teve por fundamentos:

- a água é um bem de domínio público;
- a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;
- em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;
- a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;
- a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;
- a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

Além disso, órgãos, como a Agência Nacional de Águas (ANA), são responsáveis por fazer o monitoramento de todo o recurso hídrico do país e fazer com sejam cumpridos o que é estabelecido na “Lei das Águas”.

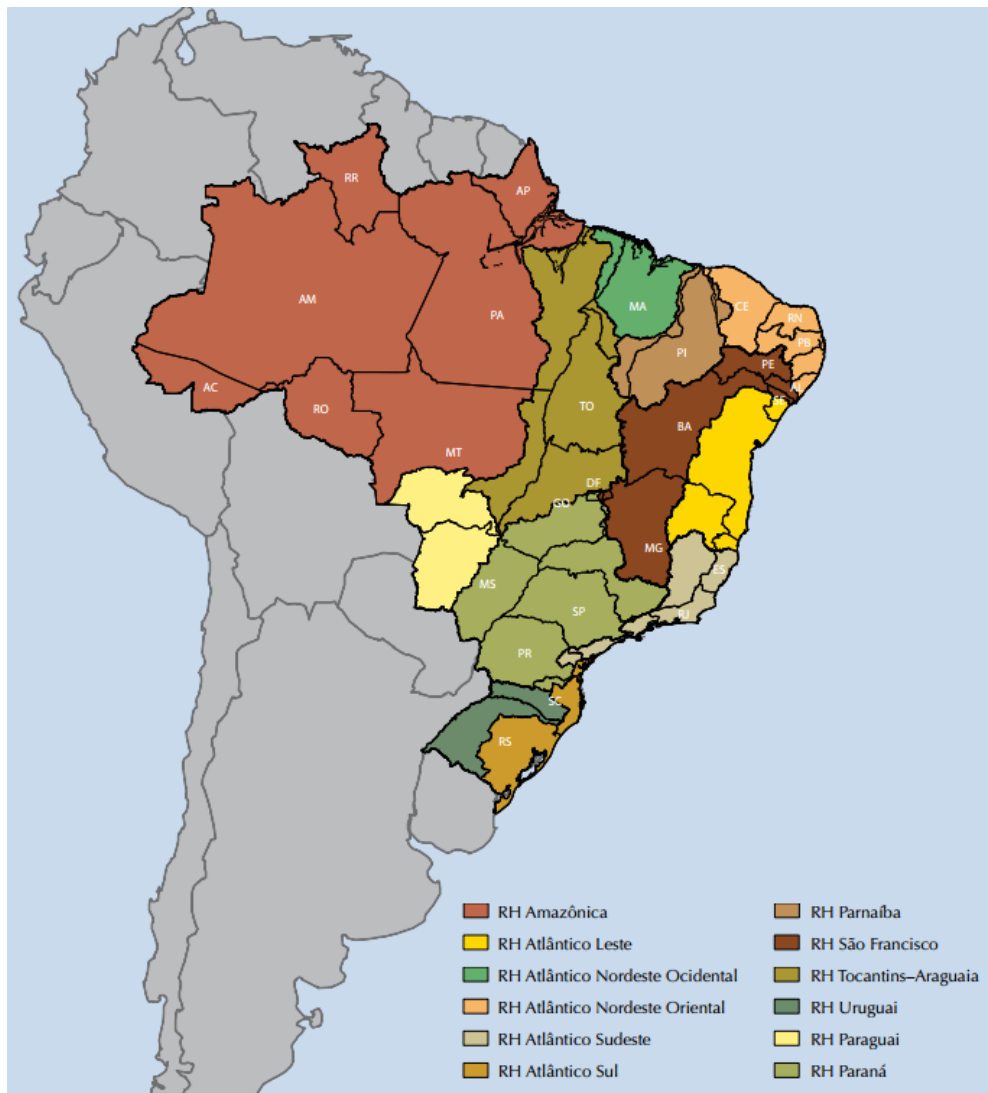
2.3. Água Subterrâneas

2.3.1. No Brasil

O solo se constitui como meio semipermeável fazendo com que a água por ele e seja filtrado até que chegue em uma região onde ela não consiga mais penetrar. Nesse momento a água irá se acumular formando verdadeiros lagos subterrâneos e, se o relevo permitir, a água tenderá a escoar formando as bacias subterrâneas. O acesso a esse tipo de fonte, normalmente, é feito por meio de poços, através de bombas retiram a água do

solo. Em geral, as águas subterrâneas se apresentam de boa qualidade sem a necessidade de um tratamento prévio para seu consumo. No entanto, para uso industrial essa água não é muito indicada por possuir grande quantidade de sais dissolvidos.

Figura 1 – Regiões Hidrográficas Brasileiras



Fonte: www.cbcs.org.br

O Brasil está dividido em 12 regiões hidrográficas que facilitam na hora de classificar as águas subterrâneas. A Figura 1 mostra o mapa brasileiro e suas respectivas regiões hidrográficas (BRASIL, 2007).

O estado do Rio grande do Norte está localizado na região hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental junto com os estados do Piauí, Ceará, Paraíba, Pernambuco e Alagoas. Segundo a Agencia Nacional de Águas (ANA), essa região ocupa 3,4 % do território nacional possuindo uma densidade demográfica 4 vezes maior que a média brasileira. Ela

apresenta temperaturas elevadas durante todo ano devido está localizada na região semiárida possuindo a menor disponibilidade hídrica do país.

2.3.2. Na cidade de Mossoró

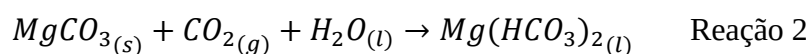
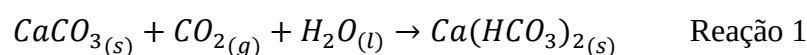
Na região potiguar destacam-se os aquíferos Jandaíra e Açu onde apresentam os maiores volumes de água. A cidade de Mossoró retira boa parte de sua água desses dois reservatórios subterrânea. Onde o Jandaíra possui 15.598 km² de extensão e espessura de 50 a 200 metros, sendo classificado como aquífero livre. E o Açu, sendo o mais importante de toda a região potiguar, com largura variando cerca de 5 km no extremo leste e mais de 20 km no extremo oeste. Segunda a ANA, a CAERN vem explorando a mais de 40 anos o aquífero Açu para o abastecimento da água na cidade (BRASIL 2005).

De acordo com Barbosa (2016), as águas subterrâneas em Mossoró distribuem-se entre 5% consumo animal, 17 % carcinicultura, 2 % consumo humano, 7 % industrial, 65 % irrigação, 5 % para outros usos. Dessa forma percebe-se que o município possui grande dependência desse tipo de fonte para o abastecimento da população e para seu desenvolvimento.

2.4. Dureza da água

A superfície terrestre é composta por inúmeros minerais que contribuem para a suspensão de partículas das águas de cada região. Carbonatos e sulfatos de cálcio e magnésio são dissolvidos pela água com muita facilidade carregando muitos íons. Segundo Blumberg (1987), é devido a alta concentração de CO₂ dissolvido nas águas de chuva, por exemplo, que as rochas calcárias são dissolvidas com maior facilidade liberando cátions e ânions.

Quando esse solvente passa por rochas, que são formadas por carbonato de cálcio, CaCO₃, e carbonato de magnésio, MgCO₃, é formado o bicarbonato de cálcio, Ca(HCO₃)₂, e o bicarbonato de magnésio, Mg(HCO₃)₂, altamente solúveis em água.



A dureza proveniente dos carbonatos, de cálcio e magnésio, é conhecida como “dureza temporária” e pode ser removida por um simples processo de ebulição. Já a dureza que é proveniente de sulfatos, nitratos e cloretos não pode ser removida por aumento de temperatura, sendo conhecida como “dureza permanente”. Essa última pode ser removida por processos específicos de separação.

Podemos classificar as águas, quanto a dureza, em: moles, levemente dura, moderadamente dura e muito dura (BLUMBERG, 1987). A Tabela 1 mostra os valores de dureza em equivalente a mg/L de CaCO_3 ou ppm (partes por milhão) e sua classificação.

Tabela 1 – Classificação da Dureza.

Classe	Dureza (ppm)	Classificação
1	0 a 55	Mole
2	56 a 100	Levemente dura
3	101 a 200	Moderadamente dura
4	201 a 500	Muito dura

Fonte: BLUMBERG, 1987

As desvantagens em se utilizar águas com altos índices de dureza são grandes, principalmente se o líquido for usado na indústria. Em caldeiras e resfriadores, águas duras tendem a depositar material nas paredes internas dos equipamentos fazendo com que os mesmos percam eficiência de troca térmica. No uso doméstico, águas com altos índices de sais dificultam na lavagem de roupas e superfícies que estejam atrelada a limpeza com sabão. Nesse caso, o sabão não consegue exercer seu efeito de limpeza devido a precipitação de sais que impedem os arranjos das micelas.

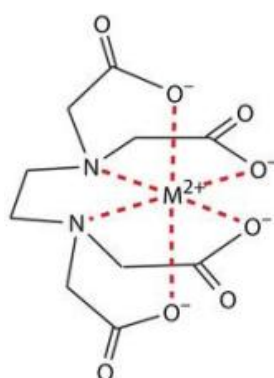
Para se obter a dureza da água normalmente se utiliza o método titulométrico de complexação com ácido etilenodiamino tetra-acético (EDTA) de formula química $\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{N}_2\text{O}_8$. Esse ácido possui característica de ser um ligante hexadentado podendo prender os íons Ca^{2+} e Mg^{2+} em seis posições de coordenação diferentes. A Figura 2 mostra a estrutura do EDTA com um íon metálico (M^{2+}) qualquer.

Para que esse ácido consiga formar um complexo de grande estabilidade, é necessário que o pH esteja em torno de 10 a 14, ou seja, um ambiente altamente alcalino. A Reação 3 mostra a formação do complexo íon EDTA.



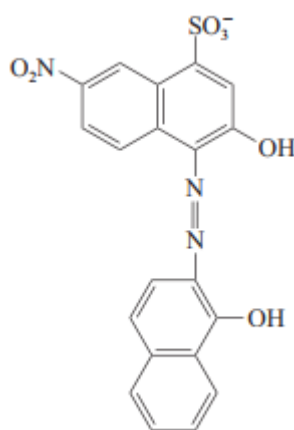
O Negro de Eriocromo T, cuja formula estrutural é mostrada na Figura 3, é um dos indicadores complexiométrico mais utilizados na determinação de dureza da água. Esse indicador tem característica de apresentar uma coloração azulada quando puro e quando colocado em soluções que apresentam cátions metálicos bivalentes, como o cálcio e o magnésio, apresenta coloração magenta (avermelhada) (KOOG, 2006).

Figura 2 – Representação da estrutura do complexo EDTA com íon metálico.



Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/EDTA>

Figura 3 – Formula estrutural do Negro de Eriocromo T.



Fonte: KOOG, 2006

2.5. Condutividade Elétrica da água

A condutividade elétrica está relacionada com a quantidade de íons presente no meio e expressa a capacidade da água em transmitir corrente elétrica. Segundo Gomes (2009), é observado uma relação direta da quantidade de íons dissolvidos com a

quantidade de carga que essa água pode transmitir, ou seja, quanto mais íons, maior a condutividade.

Além disso, Gomes (2009) também expõe a relação de temperatura e pH e a sua importância na transferência de carga. De acordo com ele, a elevação de temperatura e valores de pH localizados nas faixas extremas (maior que 9 ou menor que 5) ocorre um aumento na condutividade. Todavia, nessa faixa de pH, a condutividade é devida as altas concentrações de H^+ e OH^- .

Os principais íons responsáveis pelos valores de condutividade elétrica, na maioria das águas, são: cálcio, magnésio, potássio, sódio, carbonatos, carbonetos, sulfatos e cloretos. Porém, essa variável não determina quais íons estão presentes na solução. (GOMES, 2009).

A condutividade elétrica, geralmente, é medida em micromhos por centímetro ($\mu mhos/cm$) e no SI é medido em microsiemens por centímetro ($\mu S/cm$). A Equação 03 mostra a relação entre as unidades e a Tabela 2 mostra alguns exemplos de condutividade elétrica em águas diversas.

$$1 \text{ dS} \cdot m^{-1} = 1 \text{ mmho} \cdot cm^{-1} = 1 \text{ mS} \cdot cm^{-1} = 1000 \mu S \cdot cm^{-1} = 1000 \mu mho \cdot cm^{-1}$$

Tabela 2 – Exemplos de condutividade elétrica de diversas fontes a 25 °C.

Fonte	Condutividade Elétrica a 25 °C (dS.m⁻¹)
Água de chuva	0,15
Água média dos rios	0,2 – 0,4
Água do mar Mediterrâneo	63
Água do oceano Atlântico (máxima)	59
Água do oceano Atlântico (média)	55
Água do oceano Pacífico	51
Água do oceano Índico	54
Águas de irrigação de salinidade média	0,75 – 2,25

Fonte: ALMEIDA, 2010

Pode-se relacionar a condutividade elétrica a outro fator de qualidade da água conhecido como Sólidos Totais Dissolvidos (STD ou TDS). O STD quantifica a

quantidade de matéria orgânica e inorgânica dissolvida na água. A relação entre STD, ppm, e a condutividade elétrica é mostrada na Equação 1.

$$STD = K.A \quad \text{Eq. 1}$$

Onde, K é a condutividade em $\mu\text{S}/\text{cm}$, e A é uma constante que pode variar entre 0,55 e 0,75 dependendo da quantidade de sulfatos existente na água (GOMES, 2009).

2.6. Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH é uma medida da concentração de íons hídrón (H^+) presente em uma substância em meio aquoso. A Equação 2 mostra a relação logarítmica entre o pH e a concentração de H^+ . Segundo Brown (2016), quanto menor o valor de pH mais ácida a substância, quanto maior o valor de pH mais alcalina.

$$pH = -\log[\text{H}^+] \quad \text{Eq. 2}$$

Existem substâncias que mudam de coloração quando expostas a meios ácidos ou alcalinos. Essas substâncias são conhecidas como indicadores ácido-base. Existem estudos, como Terzi (2001), que buscam elementos indicadores simples e de baixo custo.

Os indicadores ácidos apresentam hidrogênios ionizáveis em sua estrutura, quando em meio ácido, mantendo os átomos de hidrogênio ligados devido ao efeito do íon comum. Se estiverem presentes em meio básico, os hidrogênios são atraídos pelo grupo OH^- para formar água e liberam ânions que possuem coloração. (ANTUNES, 2008).

Os indicadores básicos possuem o grupo ionizável hidroxila (OH^-), que quando em meio alcalino, não são ionizadas. Já em meio ácido os grupos OH^- são removidos das moléculas do indicador para a formação da água e liberação de uma coloração. (ANTUNES, 2008).

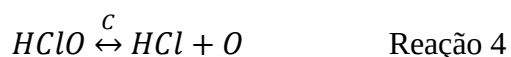
Os indicadores ácido-base mais conhecidos são: Tornassol (litmato de cálcio) que apresenta coloração vermelha em contato com um ácido e azul em contato com uma base, Fenolftaleína que apresenta coloração rosa em contato com uma base e incolor em contato com ácido (ANTUNES, 2008).

2.7. Filtro de carvão ativado

O carvão ativado é produzido com um determinado tipo de madeira, com baixo teor de oxigênio, a qual é queimada a uma temperatura de 800 °C a 1000 °C. Esse tipo de carvão é muito utilizado nas indústrias químicas, alimentícias, farmacêuticas, de tratamento de água e efluentes. Normalmente, é utilizado como filtro natural graças a seu grande número de poros fazendo com que as substâncias se adsorvam em sua superfície (FREITAS, 2014).

Segundo Freitas (2014), graças as suas propriedades, o carvão ativado é um excelente clarificador, desodorizado e purificador de líquidos e gases. Foi utilizado recentemente para purificação da água na cidade de Kanamachi (Japão) onde conseguiu retirar, com bastante eficiência o iodo radioativo. No entanto, essa substância não consegue aderir a álcoois, potássio, ferro e outros metais e diclorodifeniletano (DDT) (FREITAS, 2014).

Em muitas estações de tratamento de água é adicionado cloro para remoção de determinados vírus e bactérias, sendo uns dos mais eficientes meios de desinfetantes. Ao ser adicionado ele irá reagir com a água para a formação do íon hipoclorito (ClO^-) que deixará um gosto desagradável na água. Além disso, subprodutos são formados quando outras substâncias se unem ao cloro formando compostos prejudiciais à saúde a longo prazo. Dessa forma, utiliza-se o carvão ativado para redução desse íon hipoclorito para cloreto de acordo com a Reação 4, onde C representa o carbono ou carvão ativado (SCHMIDT, 2011).

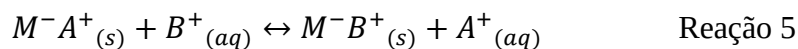


Quando a água, contendo os compostos de cloro livre, passa pela superfície do filtro de carvão, o cloro será adsorvido na superfície e depois reduzido. No entanto impurezas podem se aderir a superfície do carvão reduzindo o número de poros do carvão e, conseqüentemente, reduzindo a vida útil do filtro (SCHMIDT, 2011).

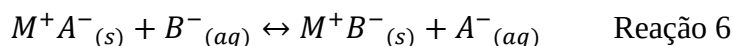
2.8. Trocador iônico

Segundo Nascimento (1998), os trocadores iônicos são compostos por resinas, artificiais ou naturais, que possuem a capacidade de trocar íons com determinada substância. Existem dois tipos de resinas: catiônicas e aniônicas. As catiônicas são

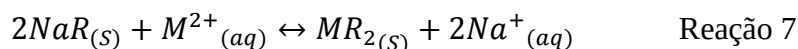
representadas pela Reação 5, onde o M^+A^- representa a resina e o B^+ representa o cátion a ser removido.



As resinas aniônicas funcionam de forma parecida, porém serão removidos apenas os ânions. A Reação 6 representa o comportamento desse tipo de resina, onde M^+A^- representa a resina e o B^- representa o ânion a ser removido (NASCIMENTO, 1998).

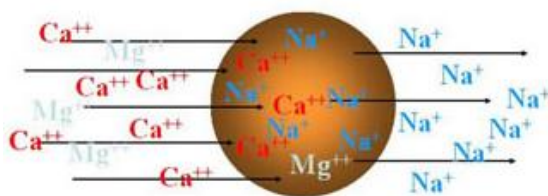


A troca catiônica se mostra bastante eficiente para a remoção de impurezas da água, tanto para uso industrial como para uso doméstico. Essas resinas são utilizadas na remoção de íons Ca^{2+} e Mg^{2+} sendo esses os principais íons causadores da dureza na água (LEVINDO, 2016). Podemos representar a troca iônica na água pela Reação 7, onde a resina liberará íons sódio (NASCIMENTO, 1998).



A passagem da água, a uma determinada vazão, pela resina faz com que os íons Ca^{2+} e Mg^{2+} sejam adsorvidos e os íons Na^+ sejam liberados. A Figura 4 mostra como a resina se comporta diante de uma corrente de água com íons Ca^{2+} e Mg^{2+} .

Figura 4 – Representação de uma resina catiônica.



Fonte: <http://www.naturaltec.com.br/resina-de-troca-ionica/>

A desvantagem desse método de abrandamento da água é que em algum momento a resina irá perder a sua eficiência devido a saturação de suas estruturas ligantes. Nesse

momento se faz necessário a troca da resina ou a regeneração da mesma com a aplicação de uma solução com íons que serão liberados posteriormente (NASCIMENTO, 1998).

2.9. Osmose Inversa

Uma das técnicas que mais se utiliza para o tratamento de água é a osmose reversa ou inversa (OI). Essa técnica se baseia no princípio da osmose, onde ocorre a passagem de um solvente através de membranas semipermeáveis. A osmose natural se dá pela difusão do solvente da solução menos concentrada para a mais concentrada, igualando assim a concentração de ambas as soluções. (PORTO, 2014).

Segundo Silva (2013), “A osmose inversa é o processo de separação da água dos sais minerais. Essa se constitui de duas soluções, uma com concentração maior de sais em relação à outra concentração, diferentemente da osmose natural, a solução mais concentrada tende a ir para solução menos concentrada. Isso ocorre devido a aplicação de uma pressão maior que a pressão osmótica do solvente do solvente.”

Industrialmente, a OI é utilizada para se evitar incrustações em equipamentos que utilizam a água para o seu funcionamento, por exemplo, trocadores de calor, caldeiras e evaporadores. Muitas das substâncias dissolvidas na água são sais, óxidos e hidróxidos e apresentam solubilidades diferentes, sendo influenciadas basicamente pela temperatura, concentração e pH (VALLE, 2012).

Em determinados equipamentos, há um aumento na concentração das substâncias dissolvidas que, muitas vezes, podem se precipitar de forma aderente nas superfícies dos equipamentos (principalmente nas regiões de troca térmica), constituindo as incrustações (TROVATI, 2004).

Material orgânico (óleos, graxas, resíduos), lodo e acúmulo de material microbiológico, produtos de corrosão, sólidos em suspensão (argila, etc.), bem como produtos insolúveis originados de reações químicas na água (incluindo excesso de produtos para condicionamento químico) podem se incrustar danificando ou prejudicando o funcionamento do equipamento. (TROVATI, 2004).

2.10. Sistema de tratamento da Tecnoplus Ambiental

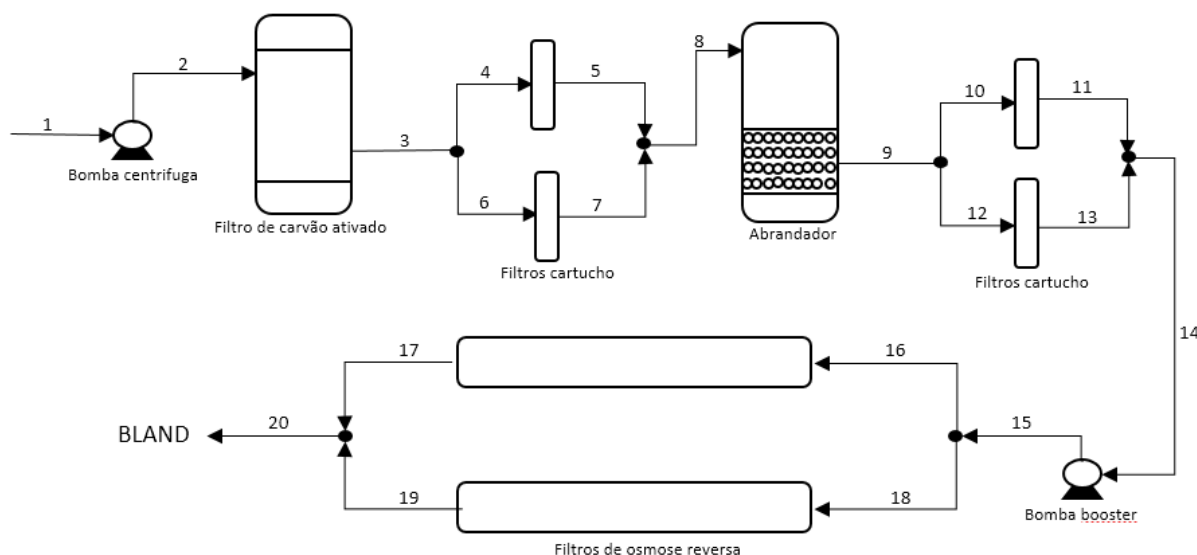
O sistema de tratamento da empresa se caracteriza por ser compacto e de alta eficiência no tratamento de água. Ele é composto por uma bomba centrífuga de 2 cavalo vapor (cv), uma bomba tipo booster, um filtro de carvão ativado, um sistema de troca

iônica, quatro filtros tipo cartucho e dois sistemas de osmose inversa. Os equipamentos estão dispostos de acordo com a Figura 5.

A água a ser tratada chegará de caminhão pipa proveniente dos poços do Hotel Thermas e distribuída pela empresa PLENA. O líquido ficará armazenado em 4 caixas, de polietileno, até ser clora e puxada pela bomba centrífuga que aumentará a pressão para aproximadamente 3 bar. Após o filtro de carvão, a água não possuirá mais cloro, porém pequenas partículas provenientes da água e do carvão irão persistir. Essas partículas serão retiradas pelos dois primeiros filtros de cartucho.

A água entrará no abrandador, sem sólidos suspensos e sem cloro, com o objetivo de retirar todos os cátions que caracterizam a dureza da água. No entanto, esse trocador iônico só irá adsorver cátions, sendo que boa parte dos ânions serão retirados nos dois filtros de osmose inversa. Os dois últimos filtros cartucho tem a função de retirar toda e qualquer partícula suspensa que tenha persistido até aqui. A bomba booster aumentará a pressão para, aproximadamente, 15 bar e a água, ao sair dos filtros de osmose inversa, terá condutividade baixíssima e estará isenta de dureza. Ela será armazenada em uma caixa d'água (bland) que posteriormente irá para o reservatório central do Supermercado Atacadão e distribuída para todas as suas funções.

Figura 5 – Fluxograma do sistema compacto da Tecnoplus Ambiental



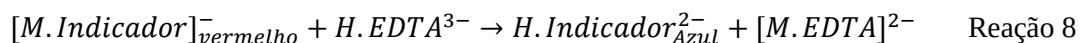
Fonte: Autoria própria

3. METODOLOGIA

As análises foram realizadas em laboratório próprio da Tecnoplus Ambiental, no período de 11/10/17 a 07/02/18, o mesmo fica dentro da unidade compacta de tratamento de água. A unidade de tratamento está localizada no Atacadão Mossoró na avenida João da Escócia, 1724 - Nova Betânia, Mossoró-RN. Foram avaliadas as seguintes características da qualidade da água: dureza total, pH, índice de cloro livre, condutividade elétrica e totais de sólidos dissolvidos.

3.1. Obtenção da Dureza na água

Para obtenção da dureza foi coletada uma amostra de 50 mL de água sendo esta transferida para um erlenmeyer de 125 ml. Foi adicionado 1 ml de uma solução tampão amoniacal (hidróxido de amônio) de pH 10 para elevar o pH do meio e favorecer a formação do complexo Metal-Eriocromo. Foi adicionado uma pequena quantidade de Negro de Eriocromo T (0,5 mg). Logo após foi observado a formação de uma coloração magenta. Em seguida ocorreu a titulação, com auxílio de uma bureta de 50 mL, da mistura com EDTA (0,01 M) até que fosse observada uma mudança de coloração para azul. A Reação 8 representa a titulação com EDTA e formação dos complexos de coloração magenta e azul.



Como o número de mols de $CaCO_3$ é igual ao número de mols de EDTA, temos que:

$$X = \frac{[EDTA] * V_{EDTA}^{Titulado} * f_c * 100 * 1000}{V_{amostra}} \quad \text{Eq. 3}$$

$$X = V_{EDTA}^{Titulado} * f_c * 20 \quad \text{Eq. 4}$$

Onde $V_{EDTA}^{Titulado}$ é o volume de EDTA usado na titulação e f_c é o fator de correção do EDTA. A unidade de X é mg/L de $CaCO_3$.

3.2. Obtenção da condutividade elétrica da água

De acordo com Gomes (2009), a condutividade é medida através da ponte de Wheatstone, na qual a resistência à passagem dos elétrons é medida entre dois eletrodos. O conjunto de eletrodos é conhecido como “célula de condutividade”, sendo os eletrodos separados a uma distância de 1 cm. Normalmente os eletrodos são revestidos por um material resistente a corrosão como platina, tungstênio ou aço inoxidável.

O equipamento utilizado foi o condutivímetro de bolso Meter (hold) TDS e EC, o qual retorna valores diretos de condutividade em $\mu\text{S}/\text{cm}$ a uma dada temperatura de operação. O equipamento é equipado com termômetro fazendo a conversão da condutividade em determinada temperatura. A Figura 06 mostra a foto do equipamento utilizado.

Figura 6 – Condutivímetro de bolso meter(hold) TDS e EC



Fonte: Autoria Própria

3.3. Obtenção do pH e cloro residual livre

Para se obter um valor de pH pode-se utilizar soluções comerciais indicadoras de ácido-base, muito comum em kits de piscina, ou pode-se utilizar um pHmetro. Esse último é constituído por um circuito potenciométrico, por um eletrodo e por um termômetro que fazem a leitura do pH em uma escala de 0 a 14.

Foi utilizado o Estojo de Testes Genco Cl/pH, o qual é composto por uma solução que reage com cloro residual livre e com H^+ . foi colocado dentro de um recipiente, fornecido pelo kit, uma amostra de água até o nível estabelecido pelo recipiente. em seguida, quatro gotas de Solução Teste Genco de cloro e duas gotas de solução teste de pH são adicionadas. após agitação por inversão foi constatada a mudança de cor e

comparada com a coloração do recipiente da Genco. A Figura 07 mostra o kit de teste utilizado.

Figura 7 – Estojo de teste Genco Cl/pH



Fonte: Autoria Própria

3.4. Simulação

A simulação foi realizada de forma computadorizada no software SuperPro Designer versão 9.0 da empresa Intelligen. A simulação consistiu em simular todos os equipamentos e operações unitárias que existiam no processo de tratamento de água da empresa Tecnoplus Ambiental, a qual apresenta uma unidade compacta de tratamento na empresa Atacadão Mossoró.

4. RESULTADOS E DISCURSÕES

4.1. Análises do físico-químicas do sistema de tratamento

A partir das análises de pH, condutividade elétrica, STD, dureza total e cloro residual livre, realizadas no período de 11/10/17 a 07/02/18, foi possível medir a qualidade e a eficiência do processo de tratamento de água da empresa Tecnoplus Ambiental. Os dados apresentados são médias aritméticas de cada mês.

Na Tabela 3 pode ser observado a média e o seu respectivo desvio padrão para os fatores de qualidade de pH, condutividade elétrica, dureza total e cloro residual livre avaliados em cada mês para a água bruta, ou seja, a água que vem de poços subterrâneos da região do Hotel Thermas em Mossoró-RN.

Tabela 3 – Dados da água bruta.

Mês	pH	Condutividade Elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	Dureza Total (mg.L^{-1})	Cloro Livre (mg.L^{-1})
Outubro	7,68 $\pm$ 0,25	573,08 $\pm$ 28,21	159,66 $\pm$ 24,02	0,88 $\pm$ 0,46
Novembro	7,65 $\pm$ 0,15	651,42 $\pm$ 163,38	158,6 $\pm$ 21,91	1,11 $\pm$ 0,54
Dezembro	7,71 $\pm$ 0,1	580,11 $\pm$ 117,26	156,71 $\pm$ 39,05	0,97 $\pm$ 0,61
Janeiro	7,69 $\pm$ 0,08	566,64 $\pm$ 27,61	187,48 $\pm$ 9,74	0,80 $\pm$ 0,45
Fevereiro	7,74 $\pm$ 0,09	610,4 $\pm$ 117,97	183,42 $\pm$ 17,84	0,9 $\pm$ 0,42
Média	7,69 $\pm$ 0,03	596,33 $\pm$ 35,06	169,17 $\pm$ 14,96	0,93 $\pm$ 0,11

Fonte: Autoria Própria

Pode-se observar que os valores de pH sofreram pouca variação durante o período de análises. Isso se deve, segundo Silva (2010), ao baixo índice pluviométrico contribuindo para pouca variação na quantidade de água do aquífero. Além disso os parâmetros estão de acordo com os encontrados por Oliveira (1998).

A média da condutividade elétrica mostra valores bem abaixo dos 3300 $\mu\text{S/cm}$ que foram encontrados por Oliveira (1998). No entanto, esses valores se apresentaram com pouca variação nos meses analisados. A dureza total apresentou valores aproximados durante cada mês adquirindo um valor de 169,17 mg/L de CaCO_3 para a média dos meses. Dessa forma, pode-se caracterizar essa água, segundo Blumberg (1987), como sendo moderadamente dura.

Quanto ao cloro residual livre, a média dos meses apresentou uma quantidade de cloro livre de 0,93 mg/L sendo que o valor ideal recomendado pela Organização Mundial da Saúde (OMS) é de 2 mg/L. Além disso, os valores elevados de desvio podem ser atribuídos a não dosagem da solução de cloro devido a mesma esvaziar o reservatório em períodos onde o operador não estava no sistema.

Foi observado que após a passagem da água bruta pelo filtro de carvão ativado, os valores de pH, condutividade elétrica e dureza permaneceram os mesmos, contudo os de cloro residual livre foram reduzidos para zero. Isso comprova a seletividade do filtro de carvão ativado em retirar esse tipo de íon e liberar a água sem cloro para o sistema de abrandamento.

No sistema de abrandamento por troca iônica, todos os cátions responsáveis pela dureza foram removidos dando a água uma característica de água mole. A Tabela 4 mostra a média de cada mês.

Tabela 4 – Dureza após o abrandamento.

Mês	Dureza Total (mg.L⁻¹)
Outubro	25,92 ± 50,83
Novembro	0,32 ± 1,38
Dezembro	0 ± 0
Janeiro	26,43 ± 68,15
Fevereiro	38,36 ± 83,56
Média	22,76 ± 17,21

Fonte: Autoria própria

Esses valores diferentes de zero e os desvios elevados podem ser explicados graças a perda de eficiência do abrandador a cada 80m³, onde o sistema de tratamento apresentava saturação da resina de troca iônica sendo necessário fazer a regeneração da mesma. Além disso, como o sistema funcionava 24 h, ele podia apresentar saturação da resina em horários adversos ao período de estágio fazendo com que o sistema apresentasse dureza até que o operador fizesse a regeneração manualmente modificando o valor de zero de dureza. Quando a regeneração estava completa, o valor de zero era novamente observado.

Após a remoção dos cátions, os ânions permaneciam na água até boa parte deles serem removidos pelos dois filtros de osmose inversa. A Tabela 5 mostra as análises realizadas logo após a passagem da água no sistema de osmose inversa.

Tabela 5 – Análises da água após o tratamento com os filtros de osmose inversa.

Mês	pH	Condutividade Elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	Dureza Total (mg.L^{-1})
Outubro	$5,85 \pm 0,61$	$40,6 \pm 10,47$	$0,00 \pm 0$
Novembro	$6,03 \pm 0,57$	$35,68 \pm 7,91$	$0,00 \pm 0$
Dezembro	$6,23 \pm 0,56$	$31,11 \pm 7,56$	$0,00 \pm 0$
Janeiro	$6 \pm 0,47$	$32,36 \pm 6,34$	$0,00 \pm 0$
Fevereiro	$6,52 \pm 0,32$	$40,80 \pm 13,77$	$0,00 \pm 0$
Média	$6,13 \pm 0,26$	$36,11 \pm 4,51$	$0,00 \pm 0$

Fonte: Autoria própria

Pode-se observar que a média dos meses do pH sofreu uma redução após a passagem pelos filtros de osmose quando comparado a média da água bruta. Entretanto, Souza (2014) estabelece uma faixa aceitável de 6 a 9 de pH para uso industrial sendo 6,13 um valor aceitável.

Não foi apresentada dureza em nenhum momento durante os 5 meses de análise mesmo com as falhas apresentadas anteriormente no sistema de abrandamento. Isso se deve a membrana de osmose reter qualquer quantidade de cátions remanescente do processo de abrandamento. Pode-se observar também uma redução de 93,94 % da condutividade elétrica devido a remoção de ânions e outros materiais que influenciam nessa propriedade.

Contudo, a Tabela 6 mostra a qualidade da água que chega no bland, reservatório de água tratada, mostrando uma elevação na condutividade e nos demais parâmetros de analisados.

Essas anormalidades nos dados da Tabela 6 podem ser explicadas devido a possíveis incrustações nas tubulações que levam a água da osmose para o reservatório. Outro erro observado foi a mistura da água bruta com a água tratada no bland. Isso é decorrente ao erro, por parte da empresa que abastece o supermercado, encher o reservatório por engano. Além disso, em determinados meses, como dezembro, o consumo de água do Atacadão foi superior ao estabelecido pelo sistema sendo necessário,

em alguns dias, a mistura da água tratada com a água bruta para suprir o abastecimento da loja.

Tabela 6 – Análise da água do bland.

Mês	pH	Condutividade Elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	Dureza Total (mg.L^{-1})
Outubro	$6,72 \pm 0,52$	$40,54 \pm 59,70$	$5,24 \pm 20,98$
Novembro	$7,24 \pm 0,26$	$125,72 \pm 152,83$	$39,9 \pm 62,37$
Dezembro	$7,28 \pm 0,14$	$70 \pm 60,31$	$23,8 \pm 20,66$
Janeiro	$7,23 \pm 0,17$	$49,18 \pm 38,47$	$7,31 \pm 14,53$
Fevereiro	$7,24 \pm 0,09$	$61,00 \pm 23,74$	$3,6 \pm 8,04$
Média	$7,14 \pm 0,24$	$69,29 \pm 33,48$	$15,97 \pm 15,63$

Fonte: Autoria própria

Quando tratada, a água foi levada para uma caixa d'água onde era distribuída para o trocador de calor e para a loja. A Tabela 7 mostra as análises da água da nesse reservatório de distribuição.

Tabela 7 – Água do reservatório de distribuição.

Mês	pH	Condutividade Elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	Dureza Total (mg.L^{-1})
Outubro	$7,89 \pm 0,39$	$133,69 \pm 124,78$	$38,03 \pm 39,73$
Novembro	$7,94 \pm 0,2$	$234,05 \pm 136,06$	$89,08 \pm 81,21$
Dezembro	$7,95 \pm 0,198$	$219,57 \pm 119,6$	$70,86 \pm 79,13$
Janeiro	$7,75 \pm 0,05$	$170,55 \pm 109,96$	$54,65 \pm 32,86$
Fevereiro	$7,64 \pm 5,36$	$85,80 \pm 5,36$	$27,17 \pm 2,29$
Média	$7,83 \pm 0,13$	$168,73 \pm 61,15$	$55,96 \pm 24,85$

Fonte: Autoria própria

Também foi observado a elevação nos parâmetros de qualidade da água por possíveis incrustações decorrentes desde antes da utilização do sistema de tratamento e por erros relacionados a mistura de água bruta com água tratada do bland.

Por fim, era analisado a água na torre de resfriamento, a qual era proveniente do sistema de troca térmica (ar condicionado). Os dados da Tabela 8 mostram a qualidade dessa água.

Tabela 8 – Análise realizada na torre de resfriamento semiaberta.

Mês	pH	Condutividade Elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	Dureza Total (mg.L^{-1})
Outubro	$9,00 \pm 0,35$	$960,46 \pm 186,59$	$275,32 \pm 56,88$
Novembro	$9,00 \pm 0$	$1534,15 \pm 368,62$	$427,29 \pm 126,66$
Dezembro	$8,94 \pm 0,28$	$1371,53 \pm 362,21$	$221,88 \pm 104,28$
Janeiro	$8,60 \pm 0,41$	$794,445 \pm 265,12$	$257,19 \pm 71,62$
Fevereiro	$8,20 \pm 0$	$597,20 \pm 71,21$	$180,62 \pm 10,53$
Média	$8,75 \pm 0,35$	$1051,56 \pm 392,47$	$269,60 \pm 93,82$

Fonte: Autoria própria

Foi observado que todos os fatores de qualidade foram alterados, sendo a condutividade o parâmetro que mais foi elevado. Tal comportamento era esperado já que dentro da torre de resfriamento ocorre a evaporação da água aumentando a concentração de sais. Percebe-se os parâmetros de qualidade da água na torre de resfriamento são mais elevados que a da água bruta. Isso pode ser explicado devido ao processo de concentração que ocorre dentro da torre, visto que para que a água seja resfriada é passado uma corrente de ar que arrasta uma certa quantidade de água com ela.

4.2. Simulação no SuperPro Designer

A Figura 8 mostra a simulado tomando como base o sistema de osmose inversa da Tecnoplus. A água bruta foi simulada com composição: 99,96 % de água, 0,02 % de cátions pesados e 0,02 % de ânions pesados em um fluxo volumétrico de $4,2 \text{ m}^3/\text{h}$. O teor de cátions pesados foi obtido admitindo-se que toda a dureza é proveniente de Ca^{2+} e Mg^{2+} assim como diz Levindo (2016). Logo, a média da dureza, apresentada na Tabela 3, foi transformada em fluxo mássico de $0,71 \text{ kg/h}$.

Para simular a quantidade de ânions foi calculada a diferença entre o STD e a quantidade de dureza, sendo que o STD foi obtido utilizando-se a Equação 1, com uma

constante de 0,65, e a média da condutividade elétrica apresentada na Tabela 3. Dessa forma, o valor de ânions pesados alimentado no sistema foi de 0,92 kg/h.

A cloração da água foi simulada com uma concentração de cloro a 5 %, recomendado pela Agência Nacional de Águas (ANA), a uma vazão de 1,04 L/h que foi observado no sistema da Tecnoplus Ambiental. Após clorada, foi simulado uma bomba centrífuga de eficiência 83,5 % (eficiência semelhante ao sistema real) e que conseguia elevar a pressão do sistema de 1,01 bar para 2,71 bar até a entrada do filtro de carvão ativado. Para a simulação de tal filtro, foi utilizado um filtro de adsorção GAC com retenção de 100 % de cloro residual livre.

Depois do filtro de carvão foi simulado um sistema de abrandamento por troca catiônica, admitido que todos os cátions pesados seriam removidos e com isso conseguira-se zero de dureza. Foi admitido um tempo de lavagem com água de 30 min e um tempo de regeneração da resina de 60 min.

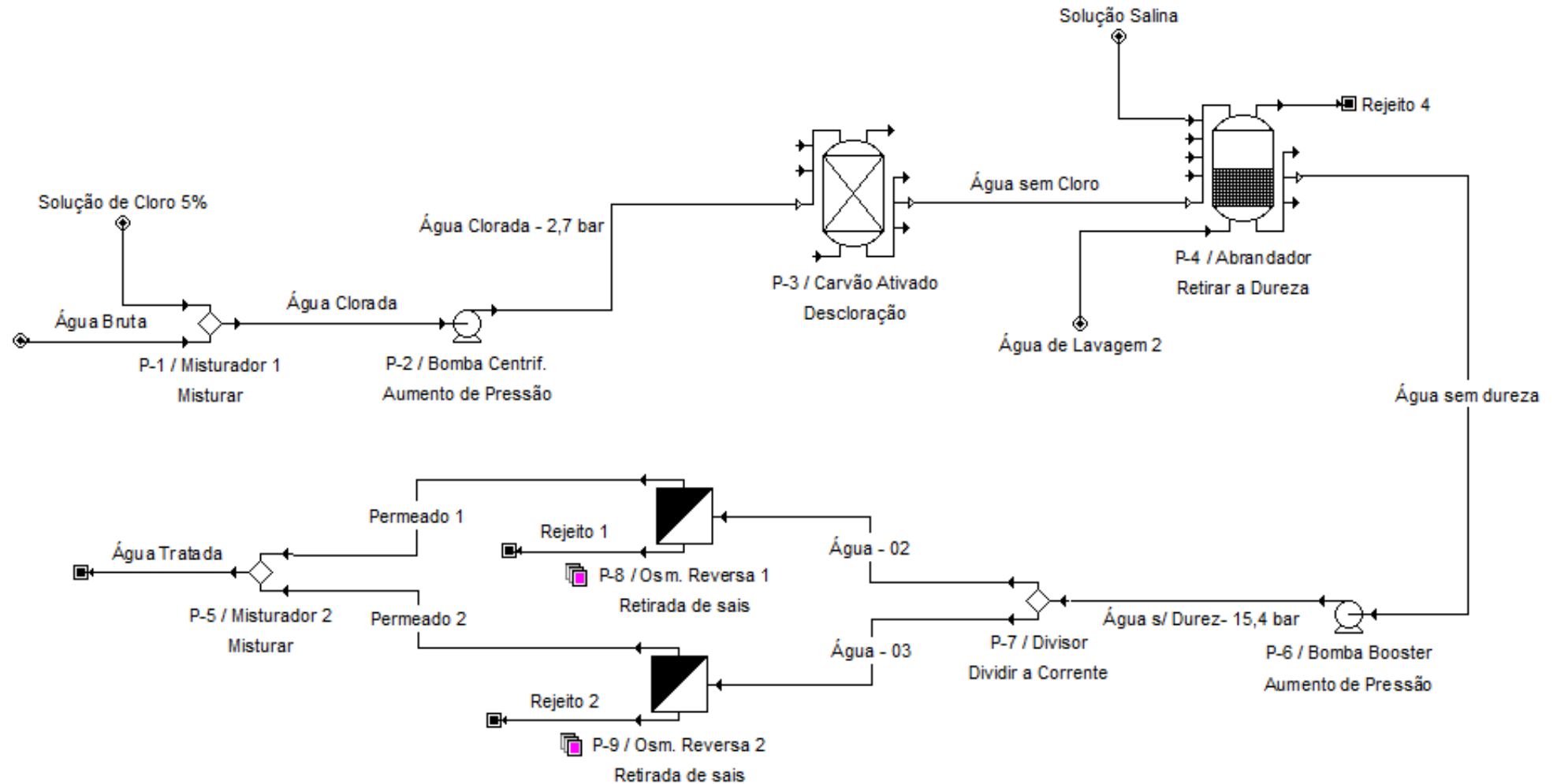
Para a entrada do sistema de osmose foi simulada uma bomba com uma eficiência de 43,9 % (eficiência semelhante ao sistema real) sendo responsável pela elevação da pressão de 2,71 bar para 15,35 bar. Essa bomba teria a função da bomba tipo booster empregada no sistema da Tecnoplus.

Logo após a bomba, os dois filtros de osmose inversa foram simulados com 93,94 % de eficiência em reter ânions pesados. Essa eficiência foi obtida a partir da comparação dos valores encontrados de STD e condutividade elétrica para água após osmose e água bruta (Tabela 5 e 3).

Quando a simulação foi realizada, o sistema de abrandamento apresentou saída de 4.200,28 L/h sendo que 99,98 % foi de água e 0,02 % de ânions. A carga de cátions foi retirada totalmente fazendo com que o sistema se apresentasse sem dureza. Além disso, todos os cátions e a corrente de sal saíram pela corrente de rejeito 4 que apresentou um fluxo volumétrico de 96,9 L/h, sendo 0,72 % de cátions, 5,94 % de sal e 93,34 % de água.

No final do processo de osmose, a simulação mostrou valores coerentes com os dados obtidos em todo o sistema da Tecnoplus já que a vazão de permeado encontrada na simulação foi de 3.362,22 L/h e a de rejeito foi de 840,55 L/h, valores bem próximos dos 3.100 L/h e 1.100 L/h observados no sistema real. A Figura 9 mostra a quantidade de água que entra no sistema de osmose e a proporção de permeado e rejeito, respectivamente. Além disso, notou-se uma elevação na temperatura na saída dos filtros de osmose inversa na simulação, resultado coerente com os obtidos no sistema real.

Figura 8 – Simulação do sistema de tratamento de água

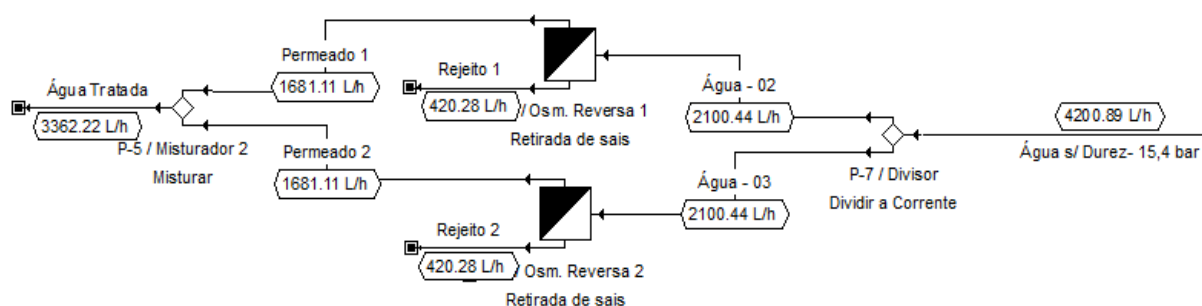


Fonte: Autoria própria

4.3. Proposta de reaproveitamento do rejeito da osmose

Assim, foi observado que o sistema consegue tratar, por dia, uma quantidade de 80,69 m³ de permeado, porém é desperdiçado uma quantidade de 20,17 m³/dia de rejeito. Visando o reaproveitamento desse rejeito foram propostas uma forma de reaproveitamento sendo que todo o rejeito seria realimentado a junto com a água bruta.

Figura 9 – Fluxograma da quantidade de água que entra e sair dos filtros de osmose inversa



Fonte: Autoria Própria

A Figura 9 mostra um esquema da recirculação do rejeito fazendo-se a mistura com a água bruta. A recirculação consistiu na redução do fluxo de água bruta e na compensação com água de rejeito sendo que foi utilizado 3324,43 L/h de água bruta e 840,59 L/h de rejeito. Dessa forma se obteve uma redução de 20174,18 L/dia da água bruta sem se alterar o fluxo de água do permeado.

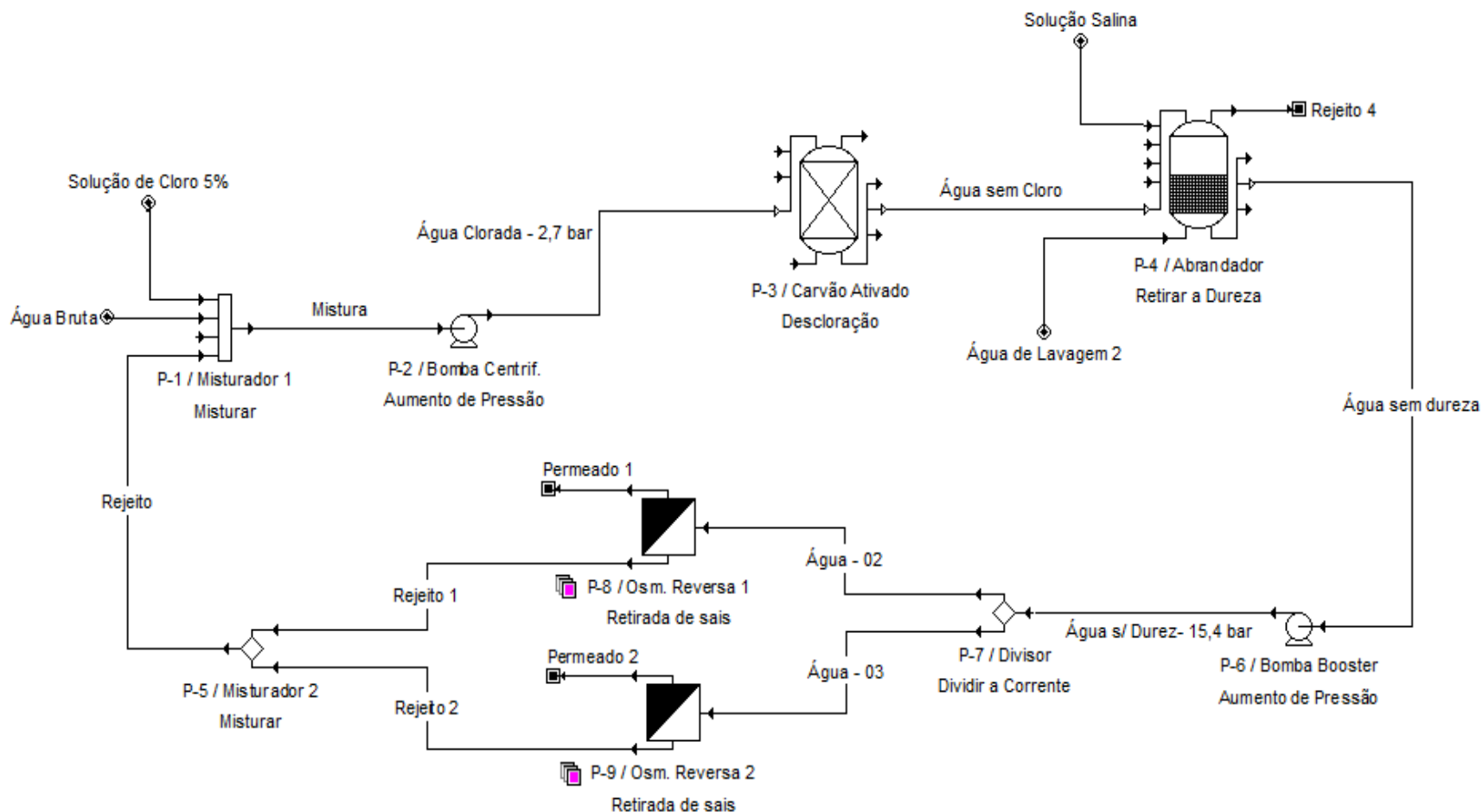
Como a simulação está visando a um tratamento de água salobra ou, segundo Blumberg (1987), moderadamente dura, a membrana de osmose inversa não pode receber uma água com condutividade elétrica ou concentração de ânions acima de 2000 µS/cm ou 1300 ppm. Isso se deve ao risco de contaminação da membrana fazendo com que a mesma seja saturada e, conseqüentemente, inutilizada.

Assim, foi observado que o valor da concentração de ânions no rejeito é elevado para 3,54 g/L em comparação aos 0,88 g/L quando o sistema não tem reciclo. No entanto, a água pode ser reutilizada devido a mistura com a água bruta que consegue baixar o valor da contração de ânions para 880,83 ppm (abaixo de 1300 ppm). Esses valores se mostraram estacionados mesmo realizando várias recirculações.

É importante observar também a concentração de ânions e cátions no abrandador, sendo que a corrente de “Água sem dureza”, que sai do equipamento, apresenta 0,88 g/L de ânions sendo maior que os 0,22 g/L do sistema sem recirculação. Em contrapartida,

foi observado uma redução na concentração de cátions, de 7,33 g/L para 5,87 g/L, na corrente de “Rejeito 4”. Essa redução é positiva já que essa corrente não é aproveitada em recirculações sendo descartada direto na rede de esgoto.

Figura 10 – Fluxograma da recirculação da mistura entre a água do rejeito da osmose e a água bruta.



Fonte: Autoria própria

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema compacto de tratamento de água da Tecnoplus Ambiental se mostrou satisfatório para tratar a água do Supermercado Atacadão, localizada em Mossoró, com eficiência de 73,8 % de permeado suprindo o abastecimento da loja. Com a simulação, foi possível verificar uma eficiência 80,05 % para o permeado com um erro de 8,5 % para o valor da Tecnoplus sendo mostrando a similaridade com o processo real.

Além disso, com a proposta de reaproveitamento da água de rejeito na simulação, foi observado uma redução de vazão de, aproximadamente, 20 m³ por dia de água bruta reduzindo os custos da matéria-prima. Além disso, o processo da Tecnoplus descartava o rejeito que sai do processo de regeneração do abrandador (Rejeito 4 da Figura 8) direto na tubulação que levava para o esgoto. Com a simulação conseguiu-se reduzir a concentração de cátions que seria jogado fora nessa corrente de saída evitando a contaminação do meio ambiente por tais íons.

Em termos do estágio, pude aplicar os conhecimentos adquiridos durante o curso na universidade e pude conhecer mais sobre o processo de tratamento de água e as suas variações. A Tecnoplus Ambiental se mostrou prestativa durante o período de estágio sendo que a maior dificuldade foi apenas na distância visto que a empresa não tem uma filial na cidade de Mossoró. Em geral, o estágio foi de extrema valia para meu crescimento profissional e pessoal.

REFERENCIAS

Albertino Alexandre Maciel Filho (Ed.). **VIGILÂNCIA E CONTROLE DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO**. Brasília: Ministério da Saúde, 2006. 212 p. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigilancia_controle_qualidade_agua.pdf>. Acesso em: 27 fev. 18.

ALMEIDA, Otavio Álvares de. **Qualidade da Água de Irrigação**. Cruz das Almas: Embrapa, 2010. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/26783/1/livro-qualidade-agua.pdf>>. Acesso em: 08 mar. 2018.

ALVARENGA, Janaína Abreu. **AVALIAÇÃO DA FORMAÇÃO DE SUBPRODUTOS DA CLORAÇÃO EM ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO**. 2010. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010. Disponível em: <<http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/845M.PDF>>. Acesso em: 07 mar. 2018.

AMORIM, Miriam Cleide C. de; PORTO, Everaldo Rocha; SILVA JÚNIOR, Luiz Gonzaga de A.. EVAPORAÇÃO SOLAR COMO ALTERNATIVA DE REUSO DOS EFLUENTES DA DESSALINIZAÇÃO POR OSMOSE INVERSA. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 27., 2000, Porto Alegre. **Anais...**. Porto Alegre: Cepis, 2000. p. 1 - 5. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/i-007.pdf>>. Acesso em: 15 dez. 2017.

ANTUNES, Márjore; PACHECO, Maria Alice R.; GIOVANELA, Marcelo. Proposta de uma atividade experimental para a determinação do pH no Ensino Médio. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE QUÍMICA, 14., 2008, Curitiba. **Anais**. Curitiba: UFPR, 2008. p. 1 - 8. Disponível em: <<http://www.quimica.ufpr.br/eduquim/eneq2008/listaresumos.htm>>. Acesso em: 09 mar. 2018.

BARBOSA, Carolina Cristiano et al. ÁGUA SUBTERRÂNEA E PETRÓLEO, UMA AVALIAÇÃO NO MUNICÍPIO DE MOSSORÓ-RN. **Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 32, n. 1, p.44-62, set. 2016. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28678/0>>. Acesso em: 02 mar. 2018.

BLUMBERG, Estanislau; NETTO, José M. de Azevedo. Alcalinidade e dureza das águas naturais: Processos de redução da dureza. **Revista do Departamento de Águas e Esgotos**, São Paulo, v. 28, n. 2, p.63-79, fev. 1987. Disponível em: <<http://revistadae.com.br/site/busca-por-artigos/?>>. Acesso em: 07 mar. 2018.

BRASIL. BRENO AUGUSTO BELTRÃO. (Org.). **PROJETO CADASTRO DE FONTES DE ABASTECIMENTO POR ÁGUA SUBTERRÂNEA ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE: DIAGNÓSTICO DO MUNICÍPIO DE MOSSORÓ**. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005. 45 p. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/17028/rel_mossoro.pdf?sequence=1>. Acesso em: 07 mar. 2018.

BRASIL. Constituição (1997). Lei nº 9433, de 8 de janeiro de 1997. **Lei Nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997**. Brasília, DF, 8 jan. 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9433.htm>. Acesso em: 07 mar. 2018.

BRASIL. Constituição (2008). Resolução nº 396, de 13 de abril de 2008. **Resolução Conama Nº 396/2008**. Diário Oficial da União, 07 abr. 2008. n. 66, p. 64-68. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=562>>. Acesso em: 27 fev. 2018.

BRASIL. Constituição (2011). Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. **Resolução Conama Nº 430/2011**. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 27 fev. 2018.

BRASIL. Constituição (2005). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. **Resolução Conama Nº 357/2005**. Diário Oficial da União, 18 mar. 2005. n. 53, p. 58-63. Disponível

em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 27 fev. 2018.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Águas Subterrâneas:** Um recurso a ser conhecido e protegido. Brasília: Agência Crio – Comunicação e Negócios, 2007. 40 p. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/167/_publicacao/167_publicacao28012009044356.pdf>. Acesso em: 07 mar. 2018.

BRASIL. Volney Zanardi Júnior. Ministério do Meio Ambiente (Org.). **GEO Brasil Recursos Hídricos:** Componente da Série de Relatórios sobre o Estado e Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil. Brasília: Agência Nacional de Águas, 2007. 264 p. Disponível em: <http://www.cbcs.org.br/userfiles/download/6_GEO_Brasil.pdf>. Acesso em: 02 mar. 2018.

BROWN, Theodore L. et al. **Química:** A ciência central. 13. ed. São Paulo: Pearson, 2016. 1220 p.

CAMPOS, Robério Telmo. Avaliação benefício-custo de sistemas de dessalinização de água em comunidades rurais cearenses¹. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 45, n. 4, p.965-984, dez. 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-20032007000400007>. Acesso em: 11 abr. 2018.

DUARTE, Marcos Antônio Calazans. **Tratamento de água para consumo humano de reservatório eutrofizado através de pré e interoxidação, adsorção em carvão ativado e dupla filtração.** 2011. 318 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-05052011-085250/pt-br.php>>. Acesso em: 14 dez. 17.

FREITAS, Leizer Cordeiro da Silva; BUENO, Silvia Messias. CARVÃO ATIVO: BREVE HISTÓRICO E ESTUDO DE SUA EFICIÊNCIA NA RETENÇÃO DE FÁRMACOS. **Resista Ciência Unilago**, São Paulo, v. 1, n. 1, p.1-11, jul. 2014.

Disponível em: <<http://www.unilago.edu.br/revista/edicaoatual/Sumario/2014/>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

FERREIRA FILHO, S. S.; MARCHETTO, M. Otimização Multi-Objetivo de Estações de Tratamento de Águas de Abastecimento: Remoção de Turbidez, Carbono Orgânico Total e Gosto e Odor. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, vol. 11, n.1, jan./mar 2006, pp. 7 – 15, 2006.

GOMES, Lúcia Helena. **ALTERAÇÕES DE PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA TRATADA COM PREPARADOS HOMEOPÁTICOS DE CARBONATO DE CÁLCIO**. 2009. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009. Disponível em: <<http://www.locus.ufv.br/handle/123456789/4513>>. Acesso em: 08 mar. 2018.

HALUCH, Vanessa. **AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL E MODELAGEM SEMI - EMPÍRICA DE UM SISTEMA DE DESSALINIZAÇÃO POR OSMOSE REVERSA DE BAIXA CAPACIDADE**. 2017. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós - Graduação em Eng En Haria e Ciência dos Materiais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017. Disponível em: <http://www.tecnologia.ufpr.br/portal/pipe/wp-content/uploads/sites/2/2016/03/Vanessa-Haluch_Dissertação.pdf>. Acesso em: 02 abr. 2018.

KOOG, WEST, HOLLER, CROUCH, Fundamentos de Química Analítica, Tradução da 8ª Edição norte-americana, Editora Thomson, São Paulo-SP, 2006.

LEVINDO, Aquila Silva; SILVA, Guilherme Milhomem da; MARINHO, Paulo Henrique Oliveira. **Aplicação de resina de troca catiônica em um reator de leito fluidificado afim de remover dureza total de água de abastecimento**. 2016. 43 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016. Disponível em: <https://www.eec.ufg.br/up/140/o/APLICACAO_DE_RESINA_DE_TROCA_CATIÔNICA_EM_UM_REATOR_DE_LEITO_FLUIDIFICADO_AFIM_DE_REMOVER_DUREZA_TOTAL_DE_ÁGUA_DE_ABASTECIMENTO.pdf>. Acesso em: 11 mar. 2018.

LIRA, Osman de Oliveira et al. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. Brasília: Fundação Nacional de Saúde – Funasa, 2014. 112 p. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/manualcont_quali_agua_tecnicos_trab_emetas.pdf>. Acesso em: 23 fev. 2018.

MESTRINHO, Suely Schuartz Pacheco. FUNDAMENTOS DA CLASSIFICAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 17., 2012, Bonito. **Anais**. Bonito: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 2012. p. 1 - 4. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/issue/view/1299>>. Acesso em: 07 mar. 2018.

MONTEIRO, Giovane de Sousa; SILVA, José Nilton; LÔBO, Henrique Lima Lessa. SIMULAÇÃO E ANÁLISE DE SISTEMA DE DESSALINIZAÇÃO VIA OSMOSE INVERSA: CONSIDERAÇÕES PARA ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA. **Centro Científico Conhecer: ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Goiânia, v. 5, n. 8, p.1-12, ago. 2009. Disponível em: <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2009B/SIMULACAO.pdf>>. Acesso em: 30 nov. 17.

NASCIMENTO, Marcos Roberto Lopes do. **REMOÇÃO E RECUPERAÇÃO DE URÂNIO DE ÁGUAS ÁCIDAS DE MINA POR RESINA DE TROCA IÔNICA**. 1998. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Química, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1998. Disponível em: <<https://www.ipen.br/biblioteca/teses/M24442.pdf>>. Acesso em: 11 mar. 2018.

OLIVEIRA, Maurício de; MAIA, Celsemy Eleutério. QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO EM DIFERENTES AQUÍFEROS NA ÁREA SEDIMENTAR DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 1, p.17-21, jul. 1998. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v2n1/1415-4366-rbeaa-02-01-0017.pdf>>. Acesso em: 16 mar. 2018.

RIANI, Josiane Costa. **Utilização de resinas de troca-iônica em efluentes de galvanoplastia**. 2008. 117 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3133/tde-30092008-151250/pt-br.php>>. Acesso em: 14 dez. 17.

SCHMIDT, Cristiane Grings. **Desenvolvimento de filtros de carvão ativado para remoção do cloro da água potável**. 2011. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgicas e de Materiais, Ciência e Tecnologia dos Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/28835/000768731.pdf?s.>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

SILVA, Débora Arianne Corrêa da; SANTOS, Érika Barbosa dos; DUARTE, Prof. Dr. José Arnaldo. UTILIZAÇÃO DE OSMOSE INVERSA PARA TRATAMENTO DE ÁGUAS. **E-f@tec**, Garça, v. 3, n. 1/2, p.1-10, ago. 2013. Disponível em: <http://www.fatecgarca.edu.br/revista/Volume3/artigos_vol3/Artigo_6.pdf>. Acesso em: 30 nov. 17.

SILVA, Gustavo Lima. **FATOR DE POLARIZAÇÃO E COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE EM UM SISTEMA DE OSMOSE INVERSA ACIONADO POR GERADOR FOTOVOLTAICO**. 2012. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologias Energéticas e Nucleares, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012. Disponível em: <http://repositorio.ufpe.br/bitstream/handle/123456789/12337/Dissert_gustavo_silva_PROTEN_2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 15 dez. 2017.

SILVA, Kelly de Fátima Nogueira Lima; SILVA, Charles Teles Santos da; CARVALHO, Clayton Moura de. CARACTERIZAÇÃO BACTERIOLÓGICA, HIDROQUÍMICA E FÍSICOQUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DAS COMUNIDADES DE KM 60 E SUCUPIRA NA CHAPADA DO APODI LIMOEIRO DO NORTE – CEARÁ. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 16., 2010, São Luiz. **Anais...** São Luiz: Degeo, 2010. p. 1 - 19. Disponível em:

<<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23074>>. Acesso em: 16 mar. 2018.

SILVA, R. M.; SILVA, J. T.; NÓBREGA JUNIOR, O. B. QUALIDADE DA ÁGUA: O CASO DE NOVA DESCOBERTA EM NATAL/RN. **Geoconexões**, Natal, v. 2, n. 1, p.1-12, nov. 2015. Semestral. Disponível em: <<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/geoconexoes/article/view/3697>>. Acesso em: 03 dez. 2017.

SOARES, Tales M. et al. Destinação de águas residuárias provenientes do processo de dessalinização por osmose inversa. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande - Pb, v. 10, n. 3, p.730-737, 28 dez. 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v10n3/v10n3a28.pdf>>. Acesso em: 23 fev. 2018.

SOUZA, Mariana Espíndola de. **ESTUDO FÍSICO-QUÍMICO DO CONCENTRADO PROVENIENTE DO PROCESSO DE OSMOSE INVERSA NO TRATAMENTO DE ÁGUA PARA USO INDUSTRIAL**. 2014. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014. Disponível em: <<https://www.tratamentodeagua.com.br/artigo/fisico-quimico-concentrado-osmose-inversa/>>. Acesso em: 16 mar. 2018.

TERCI, Daniela Brotto Lopes; ROSSI, Adriana Vitorino. INDICADORES NATURAIS DE pH: USAR PAPEL OU SOLUÇÃO? **Química Nova**, Campinas, v. 25, p.684-688, 12 dez. 2001. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v25n4/10546.pdf>>. Acesso em: 09 mar. 2018.