

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E
AMBIENTAL

JULIANO PENTEADO DE ALMEIDA

EFICIÊNCIA DE UM SISTEMA DE DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUA SALOBRA
UTILIZANDO ULTRAFILTRAÇÃO E OSMOSE REVERSA

PONTA GROSSA

2017

JULIANO PENTEADO DE ALMEIDA

**EFICIÊNCIA DE UM SISTEMA DE DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUA SALOBRA
UTILIZANDO ULTRAFILTRAÇÃO E OSMOSE REVERSA**

Dissertação apresentada para obtenção do título de mestre na Universidade Estadual de Ponta Grossa, Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental, Área de Concentração Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos.

Orientadora: Profa. Dra. Giovana Kátie Wiecheteck.

Co-orientador: Prof. Dr. Marcos Rogério Széluga.

PONTA GROSSA

2017

Ficha Catalográfica
Elaborada pelo Setor de Tratamento da Informação BICEN/UEPG

A447 Almeida, Juliano Penteado de
Eficiência de um sistema de
dessalinização de água salobra utilizando
ultrafiltração e osmose reversa/ Juliano
Penteado de Almeida. Ponta Grossa, 2017.
111f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia
Sanitária e Ambiental - Área de
Concentração: Saneamento Ambiental e
Recursos Hídricos), Universidade Estadual
de Ponta Grossa.

Orientadora: Profª Drª Giovana Kátie
Wiecheteck.

Coorientador: Prof. Dr. Marcos Rogério
Széliga.

1.Água salobra. 2.Dessalinização.
3.Ultrafiltração. 4.Osmose reversa.
5.Filtração por membranas. I.Wiecheteck,
Giovana Kátie. II. Széliga, Marcos
Rogério. III. Universidade Estadual de
Ponta Grossa. Mestrado em Engenharia
Sanitária e Ambiental. IV. T.

CDD: 628.16



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE



Título da Dissertação: "Eficiência de um Sistema de Dessalinização de Água Salobra Utilizando Ultrafiltração e Osmose Reversa"

Nome: **Juliano Penteado de Almeida**

☒ APROVADO

☐ REPROVADO

Profª. Drª. Giovana Kátie Wiecheteck
Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG

Profª. Drª. Luiza Cintra Campos
University College London - UCL

Profª. Drª. Elizabeth Weinhardt de Oliveira Scheffer
Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG

Dedico a minha família que sempre esteve a meu lado.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual de Ponta Grossa pelo acesso ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental.

À Profa. Dra. Giovana Kátie Wiecheteck, pela orientação, apoio para o desenvolvimento da pesquisa e pelo convite para participar de seu projeto.

Ao Prof. Dr. Marcos Rogério Széliga, pela co-orientação e por sempre estar disponível para colaborar com o desenvolvimento do trabalho.

Ao Institute of International Education (IIE) e ao British Council por meio do Global Innovation Initiative (GII) que financiaram o projeto e minha bolsa de estudos.

Aos Professores Dr. Miguel Acevedo e Dr. Gabriel Carranza, da University of North Texas e a Dra. Luiza Campos, da University College London, que com a indicação da Profa. Dra. Giovana Kátie Wiecheteck, me aceitaram em seu grupo de pesquisa.

À Dra. Ana Carolina Barbosa Kummer e a Tatiane Bovaroti que foram fundamentais no desenvolvimento das atividades de laboratório desta dissertação.

À Sanepar, junto com sua equipe de Pesquisa e Desenvolvimento, por disponibilizar equipamentos, espaço físico e técnicos para desenvolvimento das atividades.

Ao Engenheiro Paulo Krieger, da Permution, sempre disponível para esclarecer informações sobre o sistema de osmose reversa.

À minha esposa, Luise Brandão Ferri de Almeida, minha maior incentivadora, sempre a meu lado, me apoiando.

Ao meu filho Ricardo Ferri de Almeida, que nasceu durante o período de estudos do mestrado e trouxe muita alegria a minha vida.

Ao meu pai Marco Antonio Penteado de Almeida e a minha mãe Elaine de Cassia Penteado de Almeida, pela educação que me proporcionaram, às minhas irmãs Bianca Penteado de Almeida Tonus e Marina Penteado de Almeida, à meus sobrinhos e à todos os meus familiares que sempre estiveram comigo.

À Deus por nos dar desafios e permitir que sonhos se realizem.

RESUMO

Com a escassez da disponibilidade de água doce e o aumento da demanda de água no mundo e também no Brasil, uma das alternativas para o suprimento de água são os sistemas de dessalinização de água, que removem os sais da água salobra ou salgada. Este trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência de um sistema piloto de dessalinização de água salobra com capacidade de produção de $1,0 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ de água tratada, instalado na estação de tratamento de água (ETA) da Sanepar, no balneário de Praia de Leste, no litoral do estado do Paraná. A água salobra foi preparada a partir da mistura da água bruta do Rio das Pombas, manancial que abastece o balneário, e água do mar. As misturas foram realizadas até obter concentrações de 1000 e $1500 \pm 100 \text{ mg L}^{-1}$ de sólidos dissolvidos totais (SDT). O sistema foi composto de ultrafiltração como pré-tratamento à osmose reversa. Os experimentos foram realizados durante o período de 15 dias para cada concentração de SDT da água salobra obtendo-se remoções de 99,0 e 99,1%, para $1500 \pm 100 \text{ mg L}^{-1}$ e $1000 \pm 100 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente. Além dos SDT, foram avaliados outros parâmetros de qualidade da água como: condutividade elétrica, turbidez, cor aparente, alcalinidade, dureza total, cálcio, magnésio, cloretos, sulfatos, pH e temperatura. Durante os experimentos foram avaliados potencial de oxirredução (ORP) e a pressão osmótica, a taxa de filtração e a taxa de recuperação na membrana de osmose reversa. O sistema de ultrafiltração foi mais eficiente na remoção de turbidez e cor aparente, sendo que o sistema de osmose reversa apresentou melhor eficiência na remoção de sólidos dissolvidos totais.

Palavras chave: Água salobra, dessalinização, ultrafiltração, osmose reversa, filtração por membranas

ABSTRACT

Considering the shortage of fresh water availability and an increased demand for water in the world, including Brazil, one of the alternatives for water supply are the water desalination system, which remove salts from brackish or seawater. The objective of this study was to evaluate the efficiency of treated water desalination system with production capacity of $1.0 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ of treated water, installed in a water treatment plant of Sanepar (Water and Sanitation Company of the State of Parana), in Praia de Leste located in the coast of the state of Paraná, Brazil. In this study, the seawater was diluted with fresh water to make brackish water. The brackish water was prepared from the water mixture of the Pombas River, source of fresh water supply to the region, and sea water. The mixtures were performed to obtain concentrations of 1000 and 1500 mg L^{-1} of total dissolved solids (TDS). The system was composed of ultrafiltration (UF) as a pre-treatment to reverse osmosis (RO). Experiments were performed during 15 days for each TDS concentration of brackish water and TDS removal efficiencies were 99.0 and 99.1%, respectively. Besides TDS, other water quality parameters such as: electrical conductivity, turbidity, apparent colour, alkalinity, total hardness, calcium, magnesium, chlorides, sulphates and pH were monitored. Oxidation-reduction potential (ORP) and osmotic pressure, filtration rate and membrane recovery rate were also measured for the RO. The pilot plant system could remove all water quality parameters studied.

Key words: brackish water, desalination, ultrafiltration, reverse osmosis, membrane filtration

LISTA DE SIGLAS

AMTA	American Membrane Technology Associations
AS	Água salobra
CAMAR	Centro de Aquicultura Marinha e Repovoamento
CIP	Clean in place
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ETA	Estação de tratamento de água
MAR	Água do mar
MF	Microfiltração
NF	Nanofiltração
OR	Osmose reversa
ORP	Potencial de oxirredução
PAC	Cloreto de polialumínio
RIO	Água do Rio das Pombas
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Paraná
SDT	Sólidos dissolvidos totais
UCL	University College London
UEPG	Universidade Estadual de Ponta Grossa
UF	Ultrafiltração
UFPR	Universidade Federal do Paraná
UNT	University of North Texas
UV	Ultravioleta
WHO	World Health Organization

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVOS	13
2.1	OBJETIVO GERAL	13
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1	ÁGUA SALINA	15
3.2	SISTEMAS DE DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUA	16
3.2.1	Processos térmicos por destilação	16
3.2.2	Processos de filtração por membranas	17
3.2.2.1	Microfiltração (MF)	18
3.2.2.2	Ultrafiltração (UF)	19
3.2.2.3	Nanofiltração (NF)	19
3.2.2.4	Osmose reversa (OR)	20
3.2.2.5	Eletrodialise (ED)	20
3.3	SISTEMAS DE ABRANDAMENTO	21
3.4	PARÂMETROS DE QUALIDADE ANALISADOS NO ESTUDO	21
3.4.1	Concentração de SDT e condutividade elétrica	21
3.4.2	Turbidez	22
3.4.3	Cor aparente	22
3.4.4	pH	22
3.4.5	Alcalinidade	22
3.4.6	Dureza total	23
3.4.7	Cálcio e magnésio	23
3.4.8	Cloretos	23
3.4.9	Sulfatos	23
3.5	DESEMPENHO DA MEMBRANA DE OR	23
3.5.1	Potencial de oxirredução (ORP)	23
3.5.2	Pressão osmótica na membrana de OR	24
3.5.3	Fluxo de filtração na membrana de OR	24
3.5.4	Taxa de recuperação de água na membrana de OR	24
4	METODOLOGIA	25
4.1	DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	25
4.1.1	Local de instalação do sistema piloto de dessalinização de água	26
4.2	ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO DO SISTEMA DE DESSALINIZAÇÃO	26
4.2.1	Ponto de coleta de água do Rio das Pombas	27
4.2.2	Ponto de coleta de água do mar	27
4.3	DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUA	28
4.3.1	Pré-tratamento	28
4.3.2	Osmose reversa	31
4.3.2.1	Sistema de abrandamento	34
4.4	PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA MONITORADOS	34
4.5	PROCEDIMENTO DO EXPERIMENTO EM CAMPO	37
4.5.1	Melhorias realizadas no sistema durante o período de ensaios experimentais	38
4.6	PROCEDIMENTO DE MANUTENÇÃO DAS MEMBRANAS	39
4.6.1	Manutenção da membrana de UF	39

4.6.2	Manutenção das membranas de OR	39
4.7	ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS	40
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
5.1	RESULTADOS DA COAGULAÇÃO	41
5.2	RESULTADOS DE QUALIDADE DA ÁGUA	43
5.2.1	Concentração de SDT e condutividade elétrica	43
5.2.2	Turbidez	49
5.2.3	Cor aparente	51
5.2.4	pH	54
5.2.5	Alcalinidade	56
5.2.6	Dureza total	57
5.2.7	Cálcio	59
5.2.8	Magnésio	60
5.2.9	Cloretos	62
5.2.10	Sulfatos	65
5.3	RESULTADOS DO DESEMPENHO DA MEMBRANA DE OR	66
5.3.1	Resultados do potencial de oxirredução (ORP)	66
5.3.2	Pressão osmótica na membrana de OR	68
5.3.3	Taxa de filtração na membrana de OR	69
5.3.4	Taxa de recuperação de água na membrana de OR	70
5.4	COMPARAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO NAS ETAPAS 1 E 2	71
	CONCLUSÕES	73
	RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS	75
	REFERÊNCIAS	77
	APÊNDICE A – RESULTADOS DAS DETERMINAÇÕES ESTATÍSTICA DA ETAPA 1	82
	APÊNDICE B – RESULTADOS DAS DETERMINAÇÕES ESTATÍSTICA DA ETAPA 2	87
	APÊNDICE C – RESULTADOS DAS ANÁLISE DE QUALIDADE DA ÁGUA DA ETAPA 1	92
	APÊNDICE D – RESULTADOS DAS ANÁLISE DE QUALIDADE DA ÁGUA DA ETAPA 2	101
	ANEXO A – LAYOUT DA INSTALAÇÃO DO SISTEMA PILOTO DE DESSALINIZAÇÃO	110

1 INTRODUÇÃO

Com a escassez da disponibilidade de água doce e o aumento da demanda de água no mundo e também no Brasil, uma das alternativas para o suprimento de água são os sistemas de dessalinização de água, que removem os sais da água salobra ou salgada.

Diversos países já possuem estações de dessalinização de água com o objetivo de suprir as necessidades de consumo humano. Ainda, o número de sistemas de dessalinização de água implantados tem aumentado na região do Mediterrâneo, ao longo da costa da Austrália, na costa oeste dos Estados Unidos e em muitos pequenos estados insulares como Singapura e Maldivas (WHO, 2011b). Globalmente, estima-se que mais de 75 milhões de pessoas em todo o mundo obtenham água doce por meio da dessalinização de água do mar ou água salobra (KHAWAJI; KUTUBKHANAH; WIE, 2008).

O Brasil também possui estações de dessalinização de água, como por exemplo, na ilha de Fernando de Noronha (PLANETA SUSTENTÁVEL, 2015) e em várias comunidades do Semiárido Brasileiro (EMBRAPA, 2004) e considerando a extensão da sua zona costeira, se observa que o Brasil tem grande potencial para utilizar esta tecnologia.

Atualmente, o Balneário de Praia de Leste, na cidade de Pontal do Paraná, localizado na região costeira do estado do Paraná, é abastecida com água proveniente do Rio das Pombas. Durante os períodos de maré alta, ocorridos em períodos de estiagem, ocorrem refluxos sobre o rio com intrusões de água salgada que, conforme a Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar), aumentam a concentração de sais na água bruta que chega à Estação de Tratamento de Água (ETA) prejudicando as unidades de tratamento (informação verbal)¹.

Buscando uma solução para resolver o problema do tratamento da água resultante da mistura da água doce com a salgada devido à intrusão de água do mar no Rio das Pombas, esse trabalho visou a implantação e monitoramento de um sistema em escala piloto para dessalinização de água salobra, em Praia de Leste, utilizando ultrafiltração e osmose reversa.

Conforme a WHO (2007), sistemas de dessalinização com ultrafiltração e

¹ Informado pela Sanepar, em reunião, em Março/2015.

osmose reversa, utilizam membranas que necessitam de altas pressões para remover os sais e outros compostos da água, além de que ambos sistemas consomem energia e geram resíduo.

Na filtração em membranas, ocorre a separação da água em duas partes: o permeado e o concentrado ou rejeito. O permeado é a parte líquida que permeia pela membrana e o rejeito, é a porção líquida que não permeia pela membrana. Nas membranas de OR o permeado é a parte líquida que já sem teor de salinidade e minerais e é o líquido importante para o processo de dessalinização de água. O concentrado é o resíduo do tratamento com concentração de sais minerais e contaminantes na ordem de 2 a 10 vezes mais elevada do que na água bruta, dependendo da eficiência do sistema (WHO, 2007).

O concentrado gerado no sistema de dessalinização é objeto de outro estudo para utilização em sistemas de alagados construídos para cultivo de capim elefante, incentivando a criação de um Programa Comunitário de Pequenos Produtores Locais. Pretende-se ainda, que esse programa tenha apoio da Sanepar contemplando ações socioambientais que já são promovidas pela empresa.

A implantação do sistema de dessalinização de água salobra em Praia de Leste se justifica considerando a necessidade de expansão da oferta de água potável no litoral do Paraná, além da situação da intrusão de água do mar no Rio das Pombas, durante as marés altas. Outro fator decorre que o Rio das Pombas está na sub-bacia do Rio Guaraguaçu com vazão mínima de $7,0 \text{ L/s/km}^2$ (ÁGUAS PARANÁ, 2015) e os baixos índices de precipitação média da região variando de 95 mm no mês de agosto a 380 mm no mês de janeiro (CLIMATEMPO, 2015), o que desfavorece a recarga de água nesse manancial.

A região possuiu população flutuante elevada. Conforme informações do censo demográfico IBGE, de 2010, a cidade de Pontal do Paraná, onde fica o balneário de Praia de Leste, possui 20.920 habitantes, mas durante o verão, a população em Pontal do Paraná chega ao pico de 500.000 habitantes (BEM PARANÁ, 2009; CORREIO ATLÂNTICO, 2013; PORTAL DOS CONVÊNIOS, 2013), ou seja, 25 vezes mais que a população fixa. Essa situação reforça a necessidade de buscar novas alternativas de tratamento de água visando a expansão do sistema de abastecimento de água da região.

Este trabalho faz parte de um projeto apresentado e aprovado pelo Global Innovation Initiative com participação da Universidade Estadual de Ponta Grossa, University of North Texas (UNT), University College London (UCL) e Sanepar.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a eficiência de um sistema de dessalinização de água salobra, em escala piloto, em Praia de Leste – litoral do Paraná, utilizando ultrafiltração e osmose reversa.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Instalar e monitorar um sistema de dessalinização de água salobra, em escala piloto, variando-se a concentração de sólidos dissolvidos totais da água bruta;
- b) Estudar a eficiência de remoção de sais da água a partir da mistura da água do mar e do Rio das Pombas;
- c) Avaliar a qualidade da água em diferentes pontos de amostragem como parte do monitoramento, acompanhamento e funcionamento do sistema de dessalinização de água em Praia de Leste – litoral do Paraná.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Dessalinização é um termo utilizado para denominar o processo de remoção de sal da água para a produção de água doce (GREENLEE, 2009). Esse processo tem sido utilizado há muito tempo por nações carentes de água em todo o mundo que estão sempre buscando produzir ou aumentar a sua disponibilidade de água doce. Existem registros do século IV a.C., que mostram que marinheiros gregos já utilizavam um processo de evaporação para dessalinizar água do mar (AMTA, 2007g).

No final da década de 1940, pesquisadores começaram a estudar processos para extrair água potável a partir de água salgada (AMTA, 2007g). Tecnologias mais modernas de dessalinização foram introduzidas cerca de 50 anos atrás e foram capazes de expandir o acesso à água, mas a um custo elevado. O desenvolvimento de novas tecnologias ampliou significativamente as oportunidades de acesso a grandes quantidades de água potável em muitas partes do mundo (WHO, 2007).

O acesso a quantidades suficientes de água potável para beber, para usos domésticos, para aplicações comerciais e industriais é fundamental para a saúde, bem-estar e para a oportunidade de se alcançar o desenvolvimento econômico (WHO, 2007).

Conforme AMTA (2007) o crescimento da população e consequente aumento da demanda de água em regiões áridas, semiáridas e costeiras, contribuiu para o aumento do interesse em dessalinização da água como meio para aumentar fontes de água disponíveis para abastecimento, nos Estados Unidos. Ainda, a dessalinização de água tem crescido em países como Espanha e Austrália que possuem regiões áridas e semiáridas (GHAFFOUR; MISSIMER; AMY, 2013). Ao contrário das fontes tradicionais de suprimento de água, as alternativas de dessalinização de água não estão sujeitas às secas (AMTA, 2007g).

Atualmente 71 das maiores cidades do mundo não tem acesso local a fontes de água doce, sendo que 42 delas estão localizadas ao longo da costa (GHAFFOUR, 2009) e conforme a United Nations (2016), 40% da população mundial vive em até 100 km de distância da costa.

Os sistemas de dessalinização de água estão distribuídos da seguinte forma sobre o globo terrestre: 6% estão na região da Ásia-Pacífico, 7% nas Américas, 10% na Europa e 77% no Oriente Médio e Norte da África (LATTEMANN; HÖPNER, 2008). Mais de 12.000 instalações de dessalinização estão em operação em todo o mundo

produzindo cerca de 40 milhões de metros cúbicos de água por dia (WHO, 2007; AMTA, 2007c, 2007g).

O custo do processo de dessalinização ainda é significativo, mas tem havido uma tendência na sua redução devido ao desenvolvimento da tecnologia e uso de energias renováveis (WHO, 2007) e deve-se levar em conta também que muitas vezes se tem a água salina como única alternativa de fonte de suprimento de água e, nestas condições, o maior custo de tratamento deve ser suportado.

3.1 ÁGUA SALINA

A captação da água salina pode ser feita de duas formas: subterrânea ou superficial, e são tipicamente classificados como água do mar ou água salobra (GREENLEE, 2009), as quais são diferenciadas pela concentração de sólidos dissolvidos totais (SDT). Geralmente a água do mar possui concentração de SDT maior que a água captada em poços.

A concentração de SDT para água salina como água de alimentação de instalações de dessalinização varia de cerca de 1.000 a 60.000 mg L⁻¹ de SDT, conforme Greenlee (2009) e entre 5.000 e 40.000 mg L⁻¹ de SDT, conforme a WHO (2007).

A National Groundwater Association (2016) afirma não existir uma definição exata para a quantidade de sal para que a água possa ser classificada como salobra ou água do mar e que, na água salobra o SDT varia entre 1.000 a 10.000 mg L⁻¹ e em água do mar, o SDT, em geral, é maior que 35.000 mg L⁻¹. Essa associação sugere os valores de SDT apresentados na Quadro 3.1 para categorizar os tipos de água.

Quadro 3.1 – Classificação de águas

Tipo de água	SDT (mg L⁻¹)
Água doce	Menor que 1.000
Água ligeiramente salina	Entre 1.000 e 3.000
Água moderadamente salina	Entre 3.000 e 10.000
Água altamente salina	Entre 10.000 e 35.000
Água do mar	Entorno de 35.000 ou mais

FONTE: Adaptado de NATIONAL GROUNDWATER ASSOCIATION (2016).

Sistemas de dessalinização que utilizam água salobra como água de alimentação, tendem a ter menores dimensões que estações de tratamento de água do mar, considerando a mesma capacidade de produção. Ainda, o custo de

dessalinização é diretamente proporcional à concentração salina da água (PANKRATZ, 2016).

Normalmente o processo de dessalinização de água salobra (água salina não proveniente do mar) utiliza uma pequena fração da energia necessária para dessalinizar água do mar, sendo algo em torno de 10% a 30% da energia requerida (AMTA, 2009).

3.2 SISTEMAS DE DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUA

As principais tecnologias de dessalinização em uso hoje são: processos térmicos (destilação) e processos de filtração por membranas (FRITZMANN et al., 2007; GREENLEE, 2009 e WHO, 2007).

Do volume total de água dessalinizada no mundo, 63,7% é produzido por processos de filtração por membranas e 34,2% por processos térmicos (GHAFFOUR; MISSIMER; AMY, 2013). Qatar e Kuwait contam com 100% de água dessalinizada para o abastecimento doméstico e industrial (GHAFFOUR, 2009).

Processos de destilação de água do mar produzem volume de salmoura (concentrado) de 3 a 4 vezes maior que o volume de água doce produzida. Por outro lado, sistemas de osmose reversa produzem volumes entre 1 e 1,5 vezes o volume de salmoura, em relação ao volume de água doce produzido (WORLD BANK, 2012).

Desde a década de 1990 os sistemas de filtração por membrana utilizando osmose reversa têm crescido rapidamente (PANKRATZ, 2016).

3.2.1 Processos térmicos por destilação

Consiste no processo físico de evaporação e condensação (FRITZMANN et al., 2007 e SHATAT; RIFFAT, 2012). Neste processo a água bruta é aquecida até que se atinja o ponto de ebulição, onde o vapor é condensado e possui baixíssimo concentração de SDT, enquanto que a solução salina concentrada permanece no recipiente ora aquecido e é considerada como um resíduo (WHO, 2007; SHATAT; RIFFAT, 2012).

A energia térmica representa grande parte dos custos totais de dessalinização por destilação e frequentemente estações que adotam este tipo de tratamento, recuperam e reutilizam o calor desperdiçado (na produção de água) para a geração de energia elétrica para a própria estação de tratamento (AMTA, 2007g).

De acordo com a WHO (2007), processos de destilação podem produzir água com variação de SDT entre 1 e 50 mg L⁻¹ e conforme a AMTA (2007a), o SDT pode variar entre 5 e 50 mg L⁻¹.

Os processos térmicos mais comuns de dessalinização são: destilação de múltiplos estágios, destilação de efeitos múltiplos, evaporação por compressão de vapor e por lagoas de evaporação (SHATAT; RIFFAT, 2012).

3.2.2 Processos de filtração por membranas

Em processos de dessalinização por filtração em membranas, a água passa por uma membrana e os sais são quase que completamente retidos por ela (FRITZMANN et al., 2007).

Membranas normalmente são produzidas com materiais poliméricos e são tipicamente construídas em camadas ou em fina composição de filmes. Os fatores de seleção para membranas incluem: vida útil, resistência mecânica, capacidade de pressurização, seletividade e eficiência para remoção de solutos, e a estabilidade do pH (WHO, 2007).

A Figura 3.1 apresenta tamanhos de partículas e métodos de filtração para sua remoção. As marcações em vermelho representam o tamanho dos poros das membranas utilizadas neste estudo.

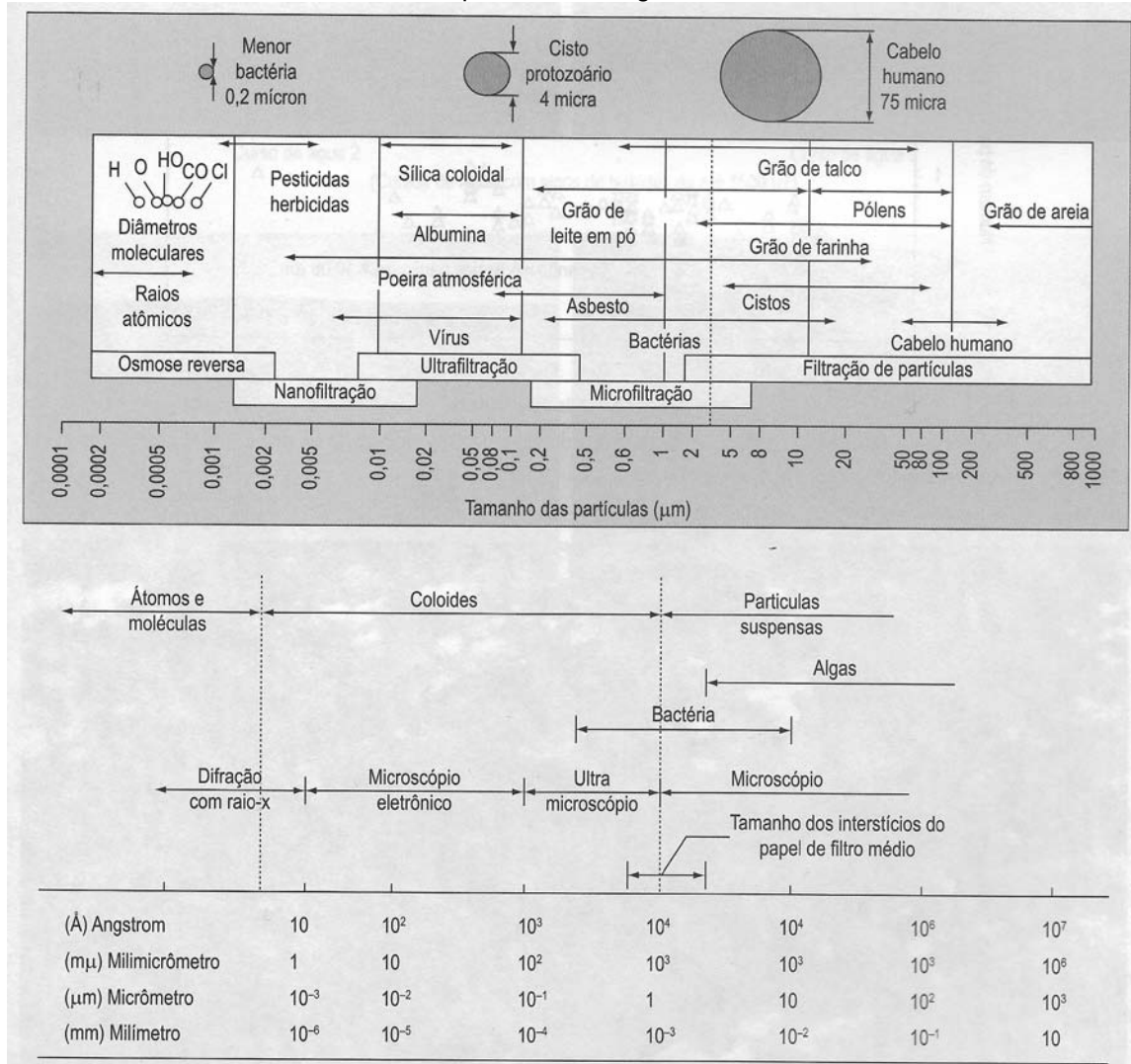
Membranas de poros maiores, como microfiltração e ultrafiltração são frequentemente utilizadas como pré-tratamento para remover contaminantes particulados maiores e para reduzir as cargas sobre as membranas mais restritivas, como a osmose reversa, melhorando assim seu desempenho e sua vida útil (WHO, 2007).

Na osmose reversa ou na nanofiltração a membrana é a barreira pela qual ocorre a separação dos sólidos dissolvidos (WHO, 2007). Tecnologias de dessalinização por membrana permitem, de forma mais econômica, que as unidades de tratamento possam ser construídas em etapas conforme o crescimento da demanda de água. Em estações tradicionais de tratamento de água, essa situação é mais difícil e onerosa (AMTA, 2007g).

Membranas podem sofrer processo de scaling e fouling. Scaling é causado por compostos inorgânicos que podem precipitar na superfície na membrana, no lado da alimentação, podendo reduzir o fluxo de permeado. Fouling é causado por crescimento biológico, chamado bio-fouling, ou por matéria suspensa ou coloidal,

promovendo o aumento da perda de pressão osmótica do sistema, e queda na concentração de sais do concentrado ou rejeito (FRITZMANN et al., 2007).

Figura 3.1 – Tamanho das partículas suspensas, coloides, microrganismos, moléculas e átomos presentes na água



Fonte: DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN (2011).

3.2.2.1 Microfiltração (MF)

É utilizada como pré-tratamento em um sistema de dessalinização de água (CHINU et al., 2010; FRITZMANN et al., 2007; VOUTCHKOV, 2010) sendo um processo de separação por membranas de baixa pressão, onde se obtém remoção de turbidez da água (AMTA, 2007d, 2007f). A MF é capaz de remover *Cryptosporidium* e *Giardia* (AMTA, 2007d, 2007f), sólidos suspensos e materiais em suspensão (FRITZMANN et al., 2007), porém não remove vírus (VOUTCHKOV, 2010).

Pode-se ter problemas de obstrução da membrana de MF quando a água de

alimentação possuir partículas suspensas de silte ou argila, de tamanho semelhante ao dos poros da membrana, pois durante o processo de filtração, essas partículas podem entrar nos poros da membrana vindo a causar irreversível comprometimento da mesma (VOUTCHKOV, 2010).

3.2.2.2 Ultrafiltração (UF)

Nos últimos anos, tem-se aumentado o número de instalações em escala piloto de UF, sendo utilizadas como pré-tratamento para osmose reversa, visto que a UF apresenta eficiência na remoção de partículas em suspensão e coloides da água do mar (FRITZMANN et al., 2007; SUN et al., 2015).

Krüger (2009) afirma que a UF tem se tornado o sistema de pré-tratamento preferencial em sistemas de dessalinização por osmose reversa principalmente para água de captação superficial e de reuso. O autor diz que comparações recentes de custos de operação mostraram que, quando todos os componentes de custo e impactos nas etapas de pré-tratamento a montante da osmose reversa são levados em conta, a UF compete com as tecnologias convencionais de pré-tratamento.

3.2.2.3 Nanofiltração (NF)

Tem sido testada pela Saline Water Conversion Corporation, na Arabia Saudita, na estação de tratamento de Umm Lujj, a nanofiltração como pré-tratamento da OR para água do mar (FRITZMANN et al., 2007).

Em sistemas de dessalinização de água do mar, onde se tem uma concentração de SDT elevado, pode ser mais econômico utilizar NF como pré-tratamento, principalmente em casos onde a membrana de OR sofre com excesso de incrustações. Membranas de NF são menos suscetíveis a incrustações que membranas de OR (ERIKSSON; KYBURZ; PERGANDE, 2005).

A NF tem aplicações como abrandador de água e usos na indústria alimentícia e farmacêutica. A NF opera compressões mais baixas do que os sistemas de OR, por exemplo, entre 50 psi e 450 psi (344,74 kPa a 3102,6 kPa) (WHO, 2007) e tem sido amplamente utilizada para remoção de dureza, cor, matéria orgânica da água bruta, turbidez e concentração de microrganismos (AMTA, 2007a, 2007e; HASSAN et al., 2000; PANKRATZ, 2016).

3.2.2.4 Osmose reversa (OR)

De acordo com a AMTA (2007a), a tecnologia de tratamento com osmose reversa vem sendo utilizada com sucesso desde 1970.

No processo de OR, a pressão osmótica é superada pela aplicação de pressão externa (energia) superior à pressão osmótica na água do mar. Assim, a água flui no sentido inverso ao fluxo natural através da membrana, removendo os sais dissolvidos da água bruta com aumento na concentração de sais no concentrado (KHAWAJI; KUTUBKHANAH; WIE, 2008).

O aumento da pressão aumenta a taxa de permeação, porém o aumento da pressão, também possibilita o aumento de incrustações e diminuição da vida útil da membrana. Processos de OR podem produzir água com concentração de 10 a 500 mg L⁻¹ de SDT (WHO, 2007).

A OR é o tipo mais difundido de processo de filtração por membranas utilizado em sistemas de dessalinização. É capaz de remover quase toda a matéria coloidal ou dissolvida a partir de uma solução aquosa, produzindo uma salmoura concentrada e um permeado que consiste em água quase pura. (FRITZMANN et al., 2007).

Conforme Fritzmann et al. (2007) a membrana de OR é baseada em uma propriedade de certos polímeros chamada semi-permeabilidade, que apresentam boa permeabilidade à água e baixa permeabilidade para substâncias dissolvidas.

Um dos mais sérios problemas na operação de sistemas que tratam água salobra (captação em superfície ou poço) é a complexidade do controle de fouling (obstrução biológica) e scaling (obstrução por sais) na membrana principalmente devido à frequente variação de qualidade da água bruta. Como consequência do fouling e scaling, a eficiência do sistema cai devido ao aumento da queda de pressão devido à diminuição da vazão, aumentando assim os custos operacionais e o consumo de energia, bem como aumentando a necessidade do uso de produtos químicos e diminuindo a vida útil da membrana (ARRAS; GHAFfour; HAMOU, 2009).

3.2.2.5 Eletrodialise (ED)

A ED é um processo de separação eletroquímica que emprega membranas de troca iônica carregadas eletronicamente com uma diferença potencial elétrica como força motriz. As membranas podem ser construídas para permitir a passagem seletiva de cátions ou ânions (SHATAT; RIFFAT, 2012).

Em comparação com outras tecnologias de filtração por membranas, a ED apresenta pior desempenho para tratamento de água do mar, pois possuiu maior propensão para incrustações (MORILLO et al., 2014)

3.3 SISTEMAS DE ABRANDAMENTO

São sistemas responsáveis pela redução da dureza das águas. Conforme Richter e Azevedo Netto (2002), existem dois processos para redução da dureza em águas, sendo: o químico de cal e soda e o iônico. Os principais compostos que conferem dureza à água são o cálcio e o magnésio, porém não são os únicos, conforme se observa no item 3.5.6.

O processo químico de cal e soda consiste na aplicação de cal e carbonato de sódio, que reagem com os compostos responsáveis pela dureza, precipitando-os (RICHTER; AZEVEDO NETTO, 2002).

O processo iônico funciona conforme os princípios de troca iônica. Neste processo, se tem a passagem de água por um meio filtrante (resina catiônica) e durante a passagem da água pelo meio filtrante, ocorre o processo de troca iônica. Íons de sódio (Na^{++}) são trocados por íons de cálcio (Ca^{++}) e magnésio (Mg^{++}), resultando na redução da dureza da água (PERMUTION, 2016).

3.4 PARÂMETROS DE QUALIDADE

3.4.1 Concentração de SDT e condutividade elétrica

Sólidos dissolvidos são os sólidos presentes na água com tamanho inferior a 10^{-3} μm (VON SPERLING, 1996) e são devidos a presença de sais inorgânicos e pequenas quantidades de matéria orgânica dissolvida na água. Os principais constituintes são cálcio, magnésio, sódio, potássio, carbonato, cloreto, sulfato e nitrato (DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2011).

A condutividade elétrica é a medida da capacidade que a água tem de conduzir corrente elétrica devido aos minerais nela presentes. Sua determinação permite estimar os SDT presentes na água (DI BERNARDO; SABOGAL PAZ, 2008a), visto que é proporcional aos SDT (RICHTER, AZEVEDO NETTO, 2002). Neste estudo, a concentração de SDT, assim como a condutividade elétrica, foram medidas em equipamento próprio e não estimadas.

3.4.2 Turbidez

A turbidez tem como seu principal constituinte os sólidos suspensos e é medida por meio do efeito da dispersão da luz que eles causam (VON SPERLING, 1996). Pode ser provocada principalmente por silte e argila, partículas coloidais, microrganismos, plâncton e matéria orgânica particulada (DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2011). Quanto menor a turbidez da água tratada, mais eficaz foi o processo de desinfecção, principalmente a inativação de vírus, preferencialmente em valores menores que 0,2 uT (RICHTER; AZEVEDO NETTO, 2002). A Portaria 2914/2011, do Ministério da Saúde, admite até 1,0 uT na água tratada.

3.4.3 Cor aparente

A cor aparente é medida da cor sem a remoção de partículas suspensas na água (DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2011), sofrendo assim a influência da turbidez. Deve-se distinguir entre cor aparente e cor verdadeira. A cor verdadeira (real) tem como seu constituinte responsável os sólidos dissolvidos. Quando os sólidos suspensos são removidos por centrifugação, têm-se a cor verdadeira (VON SPERLING, 1996).

3.4.4 pH

O pH é o potencial hidrogeniônico e representa a concentração de íons hidrogênio H^+ (em escala logarítmica), indicando a condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade da água (VON SPERLING, 1996).

Quanto menor a quantidade de matéria orgânica disponível, menor será o pH (MEZOMO, 2010). A matéria orgânica é constituída por sólidos em suspensão e sólidos dissolvidos (VON SPERLING, 1996).

3.4.5 Alcalinidade

A alcalinidade constitui parte dos sólidos dissolvidos e está relacionada com a coagulação e redução de dureza. A alcalinidade, o pH e a concentração de gás carbônico estão inter-relacionados (VON SPERLING, 1996). De acordo com Battalha (1977), a alcalinidade é causada por sais alcalinos, principalmente de sódio e cálcio. Ela é devida a presença de carbonato, bicarbonatos e hidróxidos (RICHTER; AZEVEDO NETTO, 2002).

3.4.6 Dureza total

A dureza é geralmente definida como a soma de cátions polivalentes presentes na água e expressa em termos de quantidade equivalente de CaCO_3 . Os principais íons metálicos que conferem dureza à água são o cálcio, magnésio, quase sempre associados ao íon sulfato e, em menor grau, o íon ferro e o manganês – associados ao nitrato – e o estrôncio – associado ao cloreto – (DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2011). A dureza constitui parte dos sólidos dissolvidos (VON SPERLING, 1996) e tem a propriedade de impedir a formação de espuma (RICHTER, AZEVEDO NETTO, 2002).

3.4.7 Cálcio e magnésio

São íons metálicos que conferem dureza à água e fazem parte do montante de sólidos dissolvidos totais (VON SPERLING, 1996).

3.4.8 Cloretos

Os cloretos são advindos da dissolução de sais e todas as águas naturais contém íons da dissolução de sais. Os cloretos são constituídos por sólidos dissolvidos e podem ser um indicativo de intrusão de água salina em mananciais de abastecimento (VON SPERLING, 1996) e também de poluição por esgoto doméstico (RICHTER, AZEVEDO NETTO, 2002). Maiores concentrações de cloretos conferem sabor à água, aumentando o índice de rejeição por parte da população abastecida (LIBÂNIO, 2005).

3.4.9 Sulfatos

Além de estarem relacionados à dureza, concentrações elevadas de sulfatos causam efeitos laxativos mais acentuados que outros sais (DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2011).

3.5 FATORES QUE AFETAM O DESEMPENHO DA MEMBRANA DE OR

3.5.1 Potencial de oxirredução (ORP)

O potencial de oxirredução ou redox é o potencial no qual a oxidação ocorre no ânodo (positivo) e a redução ocorre no cátodo (negativo) de uma célula eletroquímica (SUSLOW, 2004).

Suslow (2004) usa o ORP como parâmetro de controle de desinfecção de água em seu estudo, visto que esse é um indicativo em tempo real, podendo ser medido em linha no processo de tratamento. O ORP é relacionado à presença de cloro presente na água.

Steininger (1985) mostra em seu estudo que é necessário conhecer o valor do pH para correlacioná-lo ao valor de ORP medido, e assim se quantificar, via correlação, a quantidade de cloro livre presente na água.

3.5.2 Pressão osmótica na membrana de OR

A pressão osmótica de trabalho na membrana de OR pode indicar possíveis alterações na eficiência de tratamento do sistema. Acréscimos de pressão, sem acréscimos de vazão, podem indicar problemas na membrana. Além do aumento do consumo de energia, essa situação acarreta em maior custo de operação, sem gerar acréscimo da produção de água tratada.

3.5.3 Fluxo de filtração na membrana de OR

É a vazão de água permeada em relação à área de filtração disponível da membrana, sendo diretamente proporcional a temperatura e pressão. Essa informação é importante para dimensionamento de estações de tratamento em escala real.

3.5.4 Taxa de recuperação de água na membrana de OR

A taxa de recuperação de água exibe o percentual de água permeada em relação à água de entrada, na membrana de OR.

4 METODOLOGIA

4.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Praia de Leste é um dos 48 balneários que fazem parte do município de Pontal do Paraná (PONTAL DO PARANÁ, 2015a). O município de Pontal do Paraná enquadra-se na planície costeira de Praia de Leste, caracterizando-se por um relevo bastante suave e de baixa altitude, que recebe a designação genérica de restinga. Pontal do Paraná faz divisas ao sul com o município de Matinhos, a oeste com o município de Paranaguá, a leste e norte é banhado pelo Oceano Atlântico, sendo a norte limitado pela baía de Paranaguá. O município faz parte da Região Metropolitana de Paranaguá (PONTAL DO PARANÁ, 2015b) e dista 97 km da capital do estado, Curitiba.

A economia de Pontal do Paraná está baseada em atividades relacionadas ao turismo principalmente durante o período de verão entre os meses de dezembro e março (PONTAL DO PARANÁ, 2015b). Pontal do Paraná possui 20.920 habitantes (IBGE, 2010) mas durante a temporada de verão, a população flutuante no município chega ao pico de 500.000 habitantes (BEM PARANÁ, 2009; CORREIO ATLÂNTICO, 2013; PORTAL DOS CONVÊNIOS, 2013), ou seja, 25 vezes mais que a população fixa.

Figura 4.1 – Localização da captação de água no Rio das Pombas e da ETA em Praia de Leste



Fonte: SANEPAR
Adaptado de VIDAL (2014)

A água que abastece Praia de Leste é proveniente do Rio das Pombas, que faz parte da Bacia Hidrográfica do Rio Guaraguaçu, a qual é tratada pela Sanepar que utiliza a tecnologia de tratamento em ciclo completo (coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção e correção de pH). A captação de água no Rio das Pombas está a aproximadamente 10 km da ETA, conforme mostrado na Figura 4.1.

4.1.1 Local de instalação do sistema piloto de dessalinização de água

A instalação piloto de dessalinização foi instalada nas dependências da Estação de Tratamento de Água (ETA) da Sanepar, no balneário de Praia de Leste. A Figura 4.2 mostra o sistema de dessalinização de água.

Figura 4.2 – Instalação piloto de dessalinização de água



4.2 ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO DO SISTEMA DE DESSALINIZAÇÃO

Para não interferir no funcionamento da ETA de Praia de Leste, propôs-se nesse estudo, trabalhar com água salobra a partir da mistura da água bruta do Rio das Pombas com água do mar. Nos ensaios experimentais a água salobra apresentou concentrações de SDT da ordem de $1000 \pm 100 \text{ mg L}^{-1}$ (Etapa 2) e $1500 \pm 100 \text{ mg L}^{-1}$.

¹ (Etapa 1), as quais foram pré-determinadas em função das características dos equipamentos utilizados no sistema de dessalinização.

4.2.1 Ponto de coleta de água do Rio das Pombas

A água bruta do Rio das Pombas foi coletada na tubulação da adutora da ETA em Praia de Leste, com auxílio de uma bomba e mangueiras, conforme Figura 4.3.

Figura 4.3 – Água do Rio das Pombas sendo captada na chegada da adutora a ETA



4.2.2 Ponto de coleta de água do mar

Figura 4.4 – Abastecimento, via caminhão pipa, do tanque de água do mar.



A coleta de água do mar foi feita no Centro de Aquicultura Marinha e Repovoamento (CAMAR), da Universidade Federal do Paraná (UFPR) e foi

transportada até a ETA Praia de Leste via caminhão pipa (Figura 4.4). Apenas uma carga de água do mar, com 10 m^3 de volume, foi suficiente para desenvolvimento de todo o experimento.

O ponto de captação de água do mar do CAMAR está apresentado na Figura 4.5.

Figura 4.5 – Sistema de bombeamento de água do mar no CAMAR.



Local onde estão as bombas



Sistema de bombeamento

4.3 DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUA

A energia elétrica consumida pelo sistema piloto de dessalinização foi fornecida pela rede da Companhia Paranaense de Energia (Copel). Como não havia medidor de energia disponível, esse parâmetro não foi quantificado.

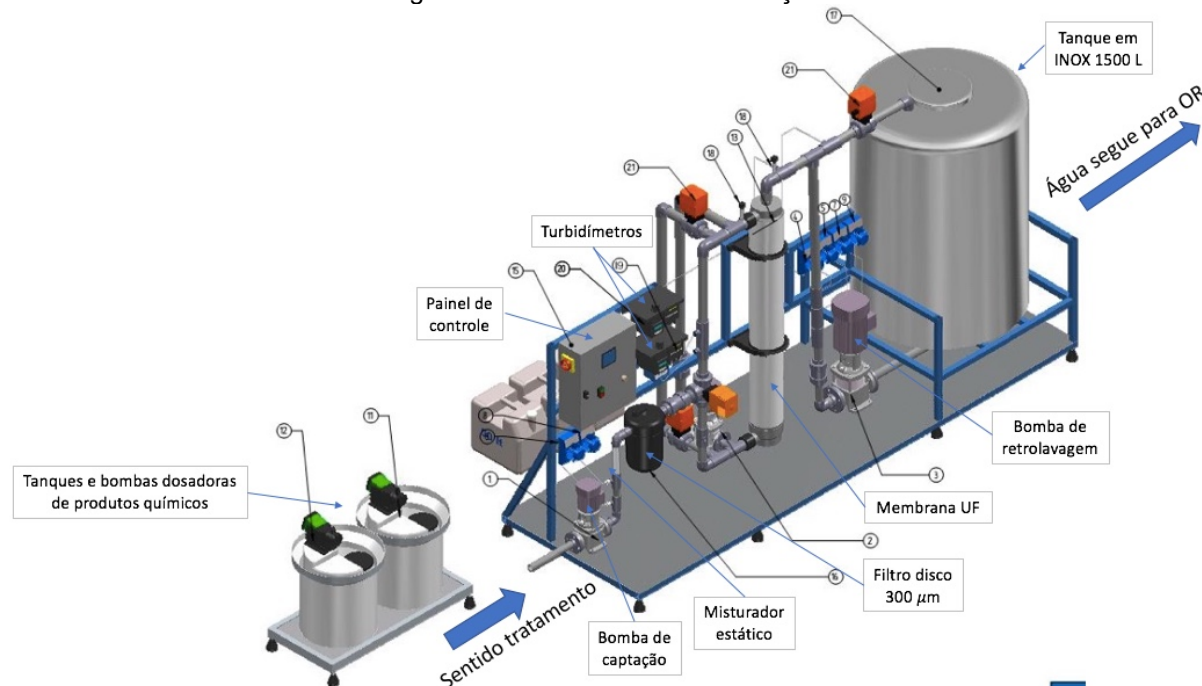
O sistema de tratamento de água possuía pré-tratamento com coagulação e filtração por uma membrana de ultrafiltração de escoamento vertical e na etapa final do tratamento, filtração por cinco membranas de osmose reversa de escoamento horizontal, com capacidade de produzir $1,0 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ de água tratada.

4.3.1 Pré-tratamento

O sistema de UF foi utilizado como pré-tratamento da OR e apresentava capacidade de tratamento de produção (permeado) de $2,7 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e foi produzido pela H₂Life Brasil (ver Figuras 4.6 e 4.7). Basicamente era constituído de estrutura metálica tipo “skid” com: painel de controle; bomba de captação; bomba dosadora para controle de pH; controlador de pH, com sensor; misturador estático; pré filtro 300 μm , com limpeza manual; 2 turbidímetros (0~100 NTU e 0~1000 NTU); válvula 3/2 vias, com

atuador elétrico; transmissor de pressão 0-10 bar; válvula de 2 vias, com atuador elétrico; membrana de UF; bomba de recirculação; bombas dosadoras para limpeza química; bomba dosadora de cloro; bomba de retrolavagem; tanque para armazenamento do permeado, em aço inox, com capacidade 1500 L e sensor de nível.

Figura 4.6 – Sistema de ultrafiltração



Fonte: H₂LIFE BRASIL. **Manual de instruções sistema piloto de ultrafiltração 1 m³/h.** 2015.

No sentido do fluxo de tratamento, a água saía do tanque de água salobra (AS), recebia o coagulante (cloreto de polialumínio – PAC), passava por um hidrômetro, que registrava o volume de água de alimentação do sistema, e seguia em direção à UF. No sistema de UF a água era pressurizada por uma bomba centrífuga, passava por um misturador estático e por um filtro de disco, com função de remoção de partículas de tamanho maior que 300 µm, e seguia para membrana de UF, onde parte da água permeava e parte era rejeitada. O sistema registrava de forma automática, a cada intervalo de 5 minutos, o pH e a turbidez antes e após a membrana de UF. O volume de água rejeitada pela membrana de UF era descartado em tanque de tratamento de lodo da Sanepar, porém seu volume não foi medido porque o sistema não possuía medidor de vazão. O permeado era armazenado em um tanque cilíndrico, com capacidade de 1.500 L. Esse tanque alimentava o sistema de OR.

Figura 4.7 – Sistema de ultrafiltração



Vista do início do tratamento na UF

Vista da membrana da UF



A membrana de UF utilizada é a X-Flow Aquaflex 55, de fabricação da Pentair. É uma membrana composta de uma mistura de polivinilpirrolidona e polietersulfona, com tamanho nominal de poro de 20 nm e estrutura assimétrica e microporosa, com área de filtração de 55 m².

4.3.2 Osmose reversa

O sistema de OR, produzido pela empresa Permution, foi montado dentro de um container e composto de: painel de controle, válvulas solenoides, medidores de vazão, manômetros, condutivímetro, ORP, bombas dosadoras (de antiescalante, de antifouling e de metabissulfito de sódio), bombas pressurizadoras, membranas de osmose reversa, sistema de limpeza com reservatório com capacidade de 200 L, filtro de cartucho, filtro de disco, misturador estático, sistema de abrandamento, tanque de cloro e UV.

O sistema de abrandamento foi projetado para remover a dureza total presente na água, prevenindo a formação de incrustações de carbonato de cálcio sobre a superfície das membranas, funcionando conforme os princípios da troca iônica, conforme detalhes apresentados no item 4.3.2.1.

Na Figura 4.8, pode-se ver um corte esquemático no contêiner da OR e nas Figuras 4.9 e 4.10 podem ser vistas as fotos do sistema.

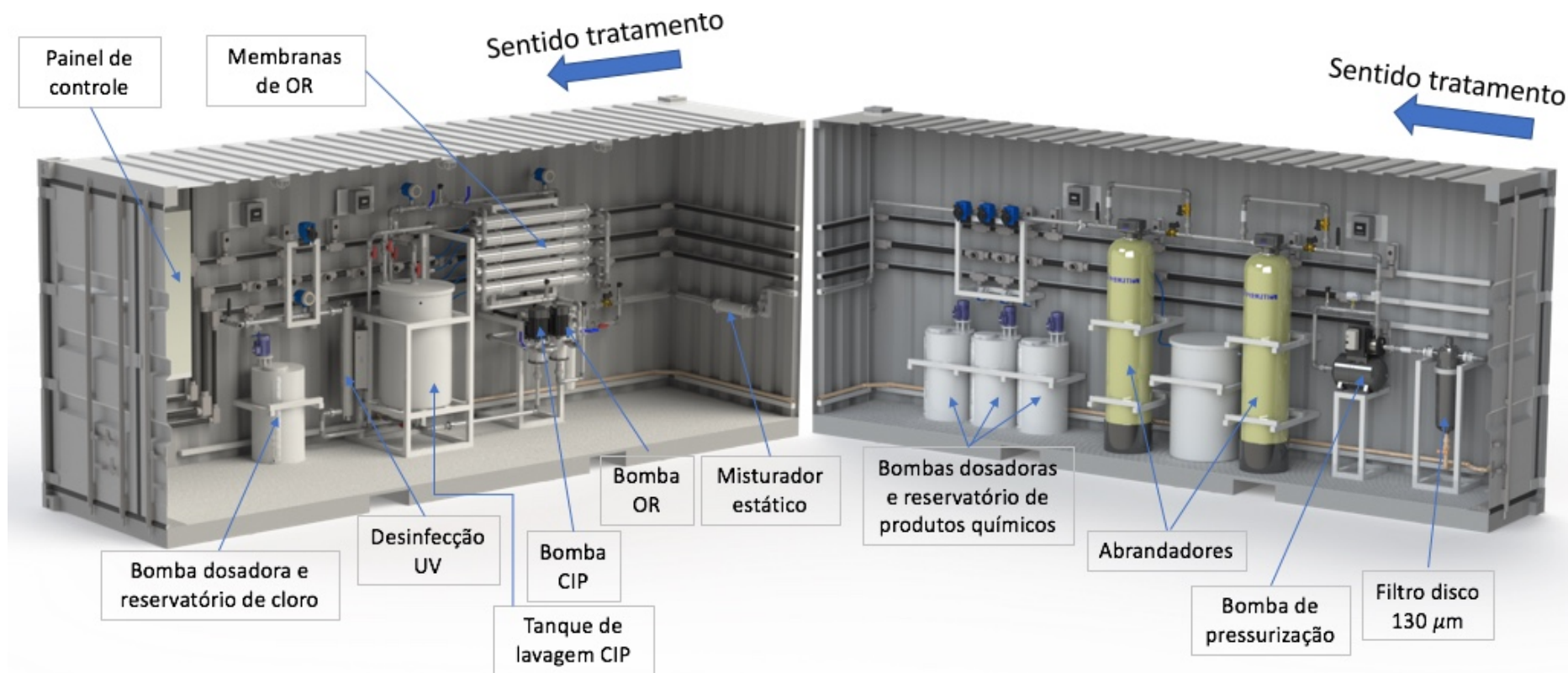
O permeado da UF, era bombeado para o sistema de OR, passando por um filtro de disco, de polipropileno, para de partículas de tamanho maior que 130 μm , e era pressurizada para os tanques de abrandamento. Após o abrandamento era dosado o metabissulfito por meio de bomba dosadora. Durante os experimentos não foi dosado nenhum tipo de anti-incrustantes (antiscaling e antifouling) para manter a integridade das membranas, por recomendação da Sanepar. A água passava por um misturador estático, por um filtro de cartucho em polipropileno, para a remoção de partículas de tamanho maior que 5 μm , e então, era bombeada para cinco membranas de OR. A desinfecção poderia ser feita por ultravioleta (UV) ou pela adição de cloro. Neste trabalho foi utilizada a desinfecção por UV.

O Quadro 4.1 apresenta resumo comparativo das especificações das membranas de UF e OR. O sistema conta com uma membrana de UF e cinco membranas de OR.

Quadro 4.1 – Comparativo das membranas de UF e OR

Membrana de UF	Membrana de OR
• Membrana Pentair – X-Flow Aquaflex 55; • Membrana – mistura de povinilpirrolidona e polietersulfona; • Tamanho nominal dos poros de 20nm; • Estrutura assimétrica/microporosa; • Área de filtração = 55 m².	• Membrana Vontron – LP21-4040; • Poliamida e enrolada em espiral; • Tamanho nominal dos poros de 1nm; • Área de filtração unitária = 8,40 m²; • Área de filtração total (5x) = 42 m².

Figura 4.8 – Sistema de osmose reversa (corte esquemático no contêiner)



Fonte: PERMUTION. **Manual técnico de operação e manutenção da unidade de tratamento avançado por osmose reversa – Modelo ROH 010054 – 1,0 m³/h.** 2016.

Figura 4.9 – Detalhamento do sistema de osmose reversa



Entrada do contêiner

Filtro de disco 130 μm 

Abrandadores



Bombas dosadoras e reservatórios de produtos químicos

A água permeada pela membrana de OR, após a desinfecção por UV, seguia para um reservatório com volume de 5.000 L e a água rejeitada pela membrana (concentrado) seguia para outro reservatório de mesma capacidade de reservação. O concentrado está sendo utilizado em sistemas de alagados construídos em estudos paralelos, a fim de dar destinação adequada a esse rejeito.

Vazão, pressão, potencial de oxirredução e condutividade elétrica foram medidos em linha no sistema com o registro automático dos dados no intervalo de 60 segundos.

O sistema de OR exigia como limites máximos para água a ser tratada, conforme o manual do fabricante, 2000 $\mu\text{S cm}^{-1}$ de condutividade elétrica e 1600 mg L^{-1} de SDT.

Figura 4.10 – Detalhamento do sistema de osmose reversa



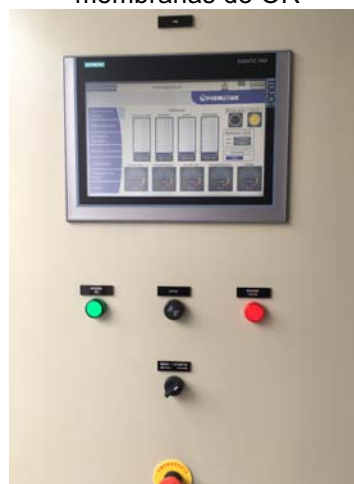
Dosagem de antiscaling, antifouling e metabissulfito



Bombas de OR e lavagem e membranas de OR



Membranas de OR



Painel de controle

O manual do fabricante também informava que a taxa média de rejeição de sais era de até 95% e a taxa média de recuperação de água era de 75%.

A membrana de OR utilizada foi a LP21-4040, fabricada para dessalinização de água salobra, pela Vontron Technology Co. Ltd. É uma membrana de baixa pressão, fabricada em poliamida e enrolada em espiral, possuía as propriedades de eliminar o sal dissolvido, COT e SiO_2 , com poros de tamanho de $0,001 \mu\text{m}$ e $8,40 \text{ m}^2$ de área de filtração, de acordo com sua especificação. Com as 5 membranas de OR utilizadas, obteve-se área total de filtração de $42,0 \text{ m}^2$.

4.3.2.1 Sistema de abrandamento

O sistema de abrandamento funcionava conforme os princípios de troca iônica, onde se observa a passagem de água por um meio filtrante (resina catiônica). Durante a passagem da água pelo meio filtrante, ocorria a troca iônica. Íons sódio (Na^{++}) são

trocados por íons de cálcio (Ca^{++}) e magnésio (Mg^{++}), resultando na redução da dureza da água (PERMUTION, 2016).

O sistema era constituído de 2 vasos catiônicos, trabalhando em paralelo, estando sempre um vaso em operação e o outro em stand-by ou em regeneração (PERMUTION, 2016).

A regeneração do sistema ocorria quando a resina filtrante estava saturada com a utilização de uma solução saturada de cloreto de sódio (NaCl), removia os íons de cálcio e magnésio retidos na resina filtrante do sistema de abrandamento eram removidos e encaminhados para o tanque de concentrado (PERMUTION, 2016).

Os abrandadores foram dimensionados para que ocorresse a regeneração a cada 50 m^3 de volume de produção de água tratada, aproximadamente (PERMUTION, 2016).

4.4 PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA MONITORADOS

O monitoramento do sistema de dessalinização foi realizado em 10 pontos de coleta de amostras, sendo RIO = água do rio; MAR = água do mar; AS = água salobra; UF1 = ultrafiltração 1 (antes da membrana de UF); UF2 = ultrafiltração 2 (depois da membrana de UF); OR1 = osmose reversa 1 (antes dos abrandadores); OR2 = osmose reversa 2 (depois dos abrandadores); OR3 = osmose reversa 3 (depois das membranas de OR); OR4 = osmose reversa 4 (depois da desinfecção por ultravioleta); CONC = concentrado; conforme apresentados na Figura 4.11, na cor azul. A mesma figura também apresenta o fluxo de tratamento da água.

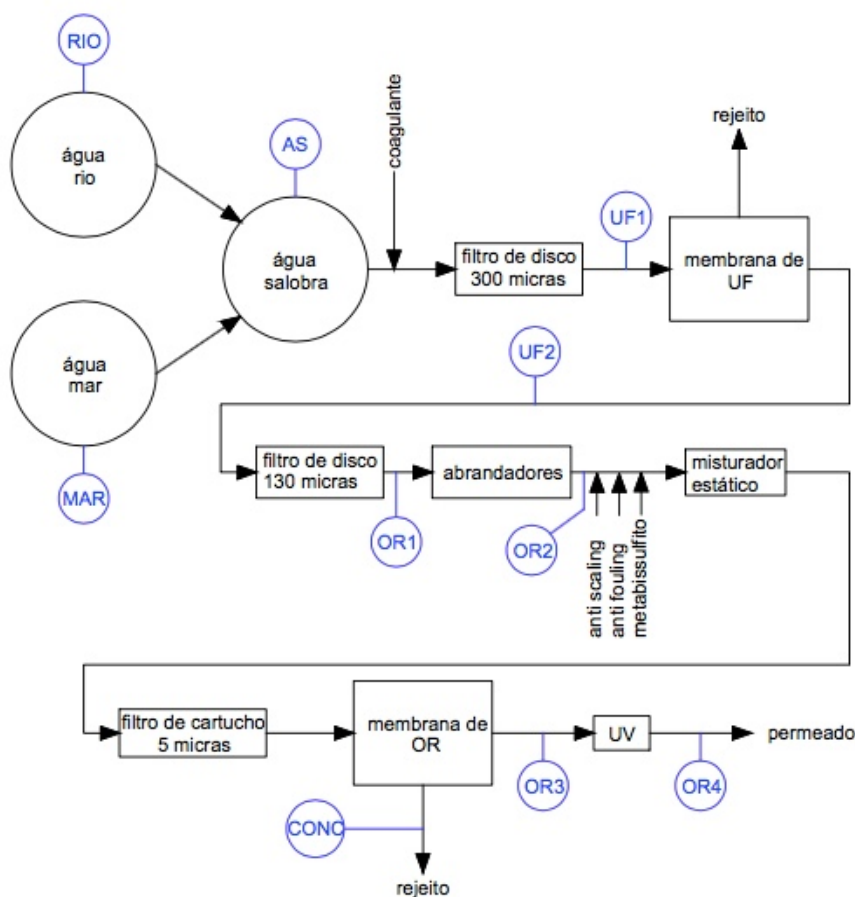
A Figura A.1, no Anexo A, apresenta o layout da instalação do sistema piloto de dessalinização.

Os parâmetros de monitoramento, locais de coleta de amostra e frequência de amostragem estão apresentados no Quadro 4.2. As metodologias de análises são as apresentadas em APHA et al. (1998). O volume de cada amostra coletada era 1000 mL que era suficiente para a realização de todas as análises em amostragem simples.

Os ensaios de turbidez, SDT, condutividade e temperatura eram realizadas em Praia de Leste e cor aparente, realizada no laboratório de recursos hídricos da UEPG, todos esses ensaios eram realizados em analisador multiparâmetros.

As análises de pH, alcalinidade, dureza total, Ca, Mg, SO_4 , Cl^- eram realizadas no laboratório de saneamento da UEPG. As amostras ficavam armazenadas na UEPG entre 7 a 15 dias e ficavam dentro de uma caixa térmica, à temperatura ambiente.

Figura 4.11 – Esquema do sistema de dessalinização e os pontos de coleta de amostras



Quadro 4.2 – Pontos de coleta de amostra, parâmetros de monitoramento e frequência de amostragem

Local de coleta	Parâmetros	Frequência
RIO	Turbidez, cor aparente, SDT, condutividade, pH, temperatura	1 x dia
MAR	Turbidez, cor aparente, SDT, condutividade, pH, temperatura	1 x dia
AS	Turbidez, cor aparente, SDT, condutividade, pH, temperatura, alcalinidade, dureza total, Ca, Mg, SO ₄ , Cl ⁻	3 x dia
UF1	Turbidez, SDT, condutividade, pH, temperatura	3 x dia
UF2	Turbidez, cor aparente, SDT, condutividade, pH, temperatura, alcalinidade, dureza total, Ca, Mg, SO ₄ , Cl ⁻	3 x dia
OR1	Turbidez, SDT, condutividade, temperatura	3 x dia
OR2	Turbidez, SDT, condutividade, temperatura	3 x dia
OR3	Turbidez, cor aparente, SDT, condutividade, pH, temperatura, alcalinidade, dureza total, Ca, Mg, SO ₄ , Cl ⁻	3 x dia
OR4	Turbidez, SDT, condutividade, temperatura	3 x dia
CONC	Turbidez, cor aparente, SDT, condutividade total, pH, temperatura, alcalinidade, dureza total, Ca, Mg, SO ₄ , Cl ⁻	1 x dia

4.5 PROCEDIMENTO DO EXPERIMENTO EM CAMPO

Diariamente, no início do experimento, se checava o nível de água reservada nos tanques de água salobra, de água do rio e de água do mar.

Para facilitar o controle visual, foram feitas marcações externas de nível máximo e mínimo nos tanques de água do rio e de água salobra. O experimento só era iniciado se o nível de água no tanque AS atingisse a marcação de nível máximo, a fim de que se conseguisse trabalhar todo dia com volume semelhante reservado de água para tratamento. Para se atingir esse volume, era transferida apenas água do Rio das Pombas para o reservatório de água salobra.

Após a recarga do tanque AS com água doce, ligava-se a bomba de recirculação desse tanque e a água recirculava por 10 minutos. Em seguida se coletava uma amostra da água para verificação da concentração de SDT. Conhecendo-se o valor de SDT da água reservada, era feita a adição de água do mar no tanque AS para se atingir a concentração de SDT desejado para o experimento ($1000 \pm 100 \text{ mg L}^{-1}$ ou $1500 \pm 100 \text{ mg L}^{-1}$).

Com a concentração de SDT no tanque AS ajustada, era feita a leitura registrada no hidrômetro da saída do tanque e o horário de início do experimento.

Para início do tratamento de água se ligava a bomba dosadora de PAC (cloreto de polialumínio), e a UF e a OR, ambos com a configuração para operação em modo automático.

O PAC era diluído em 10%, em água, e se controlava para que o pH de coagulação (medido no ponto de coleta de amostra UF1) fosse adicionado em dosagem suficiente para manter o pH de coagulação da água em torno de 6,4.

Para o monitoramento do sistema eram realizadas coletas de amostras em 3 períodos diferentes durante um dia de operação. A primeira coleta de amostras era realizada aproximadamente 60 minutos após o início da operação; a segunda coleta, era realizada aproximadamente 120 minutos após o início da operação e a terceira coleta de amostras era realizada aproximadamente 210 minutos após o início da operação. Em todas as coletas fazia-se o registro da leitura do hidrômetro junto ao tanque AS e o horário.

Após aproximadamente 15 minutos da realização terceira coleta, se desligava a OR, posteriormente a UF, a bomba dosadora de PAC e se anotava a medida registrada no hidrômetro e horário.

Em seguida se desligava a bomba de recirculação do tanque AS e se iniciava a preparação para o dia posterior de trabalho, ligando-se a bomba do tanque de água do rio para recarga do tanque AS.

Ao final do dia de trabalho se recarregava o tanque de água do rio para manter o nível de estoque de água.

As análises de SDT, condutividade e turbidez eram realizadas em Praia de Leste, utilizando-se um Ultrameter II da Myron para SDT e condutividade, e um turbidímetro 2100Q da HACH para turbidez. Análises de pH, alcalinidade, dureza total, cálcio, magnésio, sulfato e cloreto eram armazenadas dentro de caixas térmicas e enviadas semanalmente ao laboratório. As caixas térmicas e frascos vazios retornavam também semanalmente à Praia de Leste para continuidade dos experimentos.

4.5.1 Melhorias realizadas no sistema durante o período de ensaios experimentais

No dia 22/09 se operou o sistema piloto de forma intermitente, realizando-se uma parada para refeição e a partir de 23/09 até 02/12/2016 se operou o sistema sem intervalos.

Nos experimentos que ocorreram entre 22/09 e 05/10 a UF trabalhava de forma contínua com a OR, não sendo necessário nenhuma operação manual, além do acompanhamento visual, durante o período de trabalho. Essa situação teve que ser alterada devido à diferença da capacidade de produção de permeado da UF e o volume de água de entrada da OR. A UF produzia aproximadamente o dobro da vazão de água que a OR demandava. A água produzida pela UF ficava estocada em seu reservatório. Não existia a possibilidade de ajuste da vazão no equipamento de UF. Essa situação, devido ao sistema de automação da UF e dos seus sensores de nível, fazia a UF entrar em operação e desligar por ciclos de 30 segundos em um intervalo de cada 30 segundos. Essa situação poderia comprometer a vida útil das bombas e da UF.

Para se preservar a vida útil do sistema de UF, partir de 01/11, se começou a operar a UF utilizando um inversor de frequência, que permitia o controle da rotação da bomba de entrada da UF, podendo-se assim, controlar a vazão de tratamento da UF. Com essa alteração, foi necessário religar a UF manualmente, toda vez que a UF fazia uma retrolavagem, para continuar com o tratamento de água.

Entre os dias 22/09 e 11/11 se trabalhou com concentração de $1500 \pm 100 \text{ mg L}^{-1}$ de SDT e entre os dias 14/11 e 02/12/2016 se trabalhou com concentração de $1000 \pm 100 \text{ mg L}^{-1}$ de SDT.

4.6 PROCEDIMENTO DE MANUTENÇÃO DAS MEMBRANAS

4.6.1 Manutenção da membrana de UF

No sistema de UF, entre os dias 22/09 e 05/10, as retrolavagens eram realizadas a cada ciclo de 50 minutos de operação. As retrolavagens eram realizadas com água de tanque de permeado da UF. Lavagens químicas da membrana estavam programadas da seguinte forma: lavagem ácida com HCl (10%) a cada 100 ciclos de retrolavagem e lavagem básica com NaOH (10%) a cada 200 ciclos de retrolavagem.

Tentou-se operar o sistema no dia 28/10, porém durante a atividade a UF parou de funcionar. Com auxílio de técnicos da Sanepar, no dia 31/10, se abriu o cilindro (vaso de pressão) que acondicionava a membrana de UF e se pôde observar, de forma visual, que existia material retido na entrada da membrana. Assim, foi decidido realizar uma lavagem ácida, seguida por uma básica, de forma manual, da membrana de UF.

Após os dois ciclos de lavagem química da membrana, a UF voltou a funcionar no modo automático e como melhoria para a vida útil da membrana se optou por reduzir o tempo de cada ciclo para realização de uma retrolavagem para cada período de 30 minutos de operação. Manteve-se a programação das lavagens químicas e se operou a UF com essa configuração entre os dias 01/11 e 02/12/2016.

4.6.2 Manutenção das membranas de OR

Retrolavagens, sem adição de químicos, eram realizadas uma vez ao dia, sempre ao final do dia de trabalho, utilizando-se a água do permeado, que ficava armazenada no tanque de lavagem CIP (clean in place). Em cada operação de lavagem eram consumidos 200 L de água permeada.

Por orientação do fabricante do equipamento e em acordo com a Sanepar, não foi realizada nenhuma lavagem química das membranas durante o período de trabalho. O fabricante do equipamento recomendava que a lavagem química fosse realizada apenas quando a pressão de operação estivesse acima do recomendado para a membrana, justificando que lavagens químicas em excesso, ou seja, quando

não existe a real necessidade de ser executada, contribuem para a diminuição da vida útil da membrana.

O equipamento de OR possuía sensores que faziam a leitura da pressão na membrana e caso a pressão de operação estivesse acima do recomendado, o sistema informaria a necessidade de retrolavagem com água do permeado ou química.

Conforme orientação da Sanepar, devido a algumas experiências mal sucedidas no passado em seus equipamentos, não foram utilizados produtos para antifouling e antiscaling durante os experimentos realizados. A vida útil das membranas não foi avaliada neste estudo.

4.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS

Neste estudo, para avaliação dos resultados, foram utilizadas medidas de tendência central, como média e mediana; e medidas de dispersão, como variância, coeficiente de variância e desvio padrão. As medidas de dispersão utilizadas têm a média como ponto de referência e apresentam a variação de uma amostra (STEVENSON, 2001).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os experimentos utilizando-se água salobra a partir da mistura da água do Rio das Pombas com a água do mar, com concentração de SDT de $1500 \pm 100 \text{ mg L}^{-1}$ foram realizados no período de 23 de setembro a 11 de novembro de 2016, totalizando 55 horas e 29 minutos de funcionamento do sistema de dessalinização e os experimentos com concentração de SDT de $1000 \pm 100 \text{ mg L}^{-1}$, foram realizados no período de 14 de novembro a 02 de dezembro de 2016, totalizando 51 horas e 2 minutos de funcionamento do sistema, sendo 15 dias de experimento para cada concentração de SDT.

5.1 RESULTADOS DA COAGULAÇÃO

A Figura 5.1 mostra a variação do pH de coagulação durante os ensaios experimentais, medido no ponto de amostragem UF1, durante a realização do experimento entre os dias 22/09 e 11/11/2016 e a Figura 5.21, mostra a mesma situação, durante a realização do experimento entre os dias 14/11 e 02/12/2016.

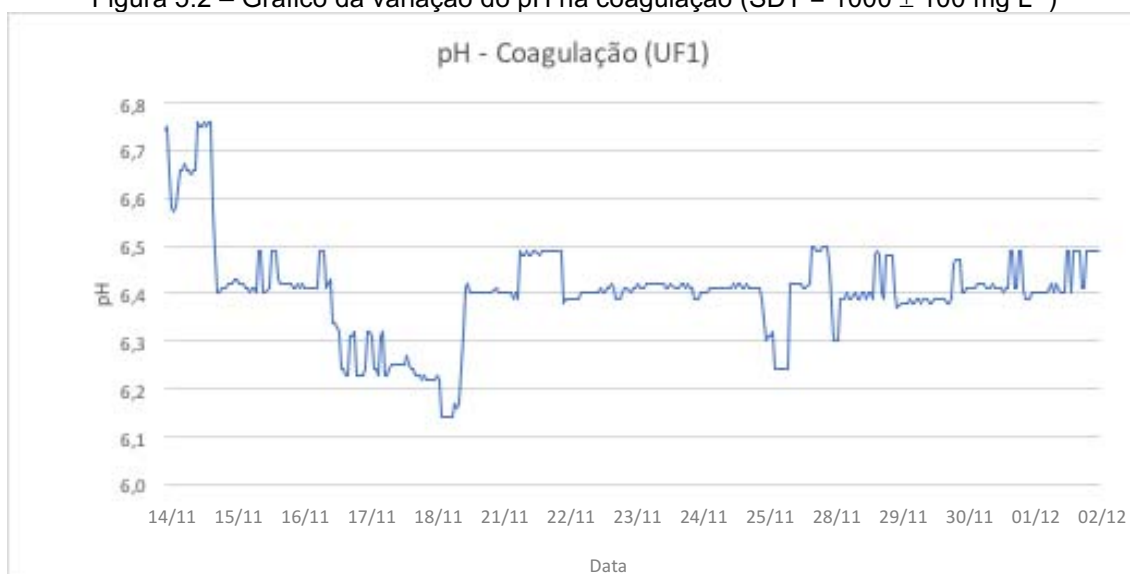
Figura 5.1 – Gráfico da variação do pH na coagulação (SDT = $1500 \pm 100 \text{ mg L}^{-1}$)



Para o teor de SDT de $1500 \pm 100 \text{ mg L}^{-1}$, o pH variou entre 6,20 e 6,40 durante a maior parte do período do experimento e teve pico mínimo de 6,12, em 04/10, e máximo de 7,27, em 05/10, apresentando média de 6,53.

Para o teor de SDT de $1000 \pm 100 \text{ mg L}^{-1}$, o pH variou entre 6,30 e 6,50 durante a maior parte do período do experimento e obteve pico mínimo de 6,14, em 18/11, e máximo de 6,76, em 14/11, apresentando média de 6,41.

Figura 5.2 – Gráfico da variação do pH na coagulação (SDT = $1000 \pm 100 \text{ mg L}^{-1}$)



As Figuras 5.3 e 5.4 mostra a dosagem de PAC utilizada em cada dia de trabalho.

O PAC era adicionado em quantidade suficiente para manter o pH de coagulação em torno de 6,4, apesar das Figuras 5.1 e 5.2 apresentarem pH maiores ou menores que esse valor, devido à falta de experiência de operação do sistema..

Figura 5.3 – Gráfico da variação da adição de PAC (SDT = $1500 \pm 100 \text{ mg L}^{-1}$)

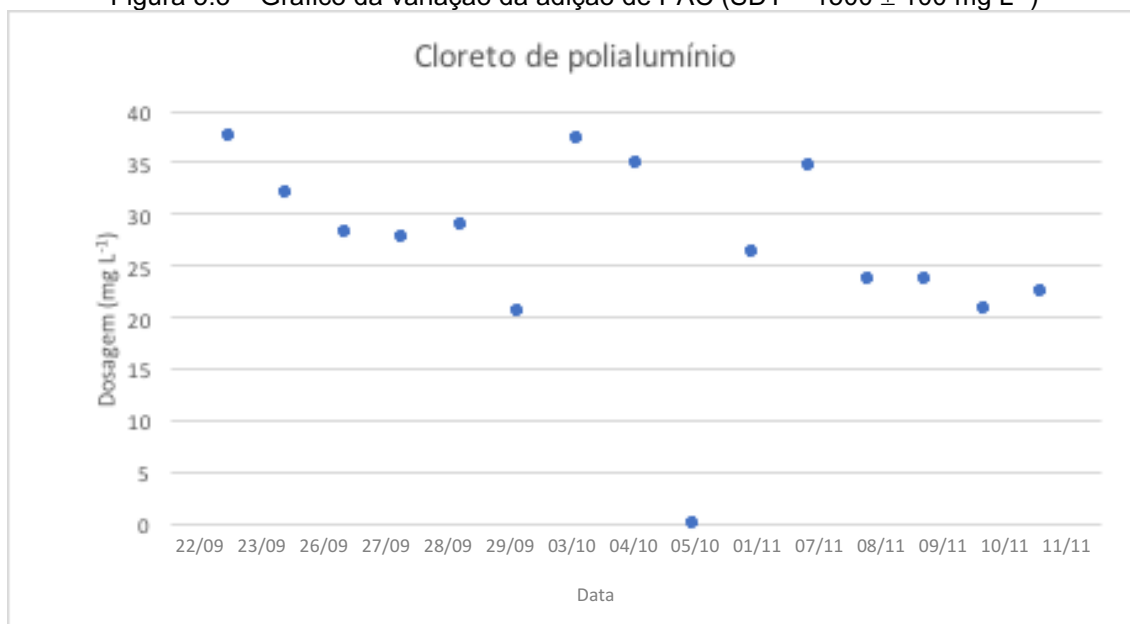
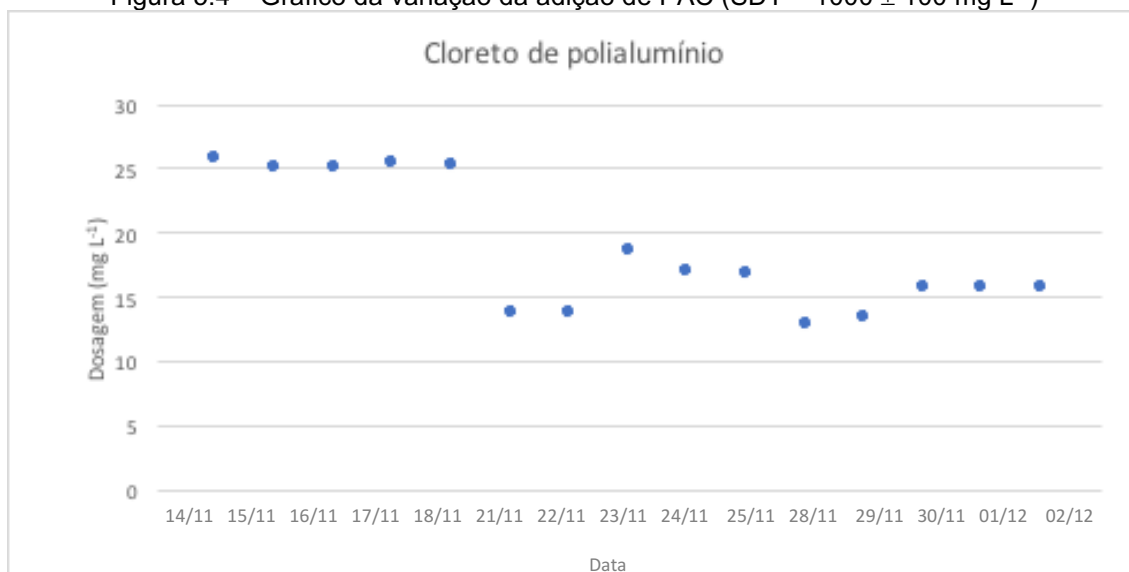


Figura 5.4 – Gráfico da variação da adição de PAC (SDT = $1000 \pm 100 \text{ mg L}^{-1}$)

Observa-se na Figura 5.3 que a adição de PAC variou entre 0,00 e $37,43 \text{ mg L}^{-1}$, com média de $26,50 \text{ mg L}^{-1}$ e a Figura 5.4, mostra que a adição de PAC variou entre 12,82 e $25,71 \text{ mg L}^{-1}$, com média de $18,63 \text{ mg L}^{-1}$.

Conforme a Figura 5.3, observa-se que no dia 05/10/2016 não foi adicionado PAC. Isso ocorreu porque havia acabado a solução de coagulante nas bombas dosadoras e isso só foi verificado após o trabalho de coleta de dados ter sido realizado naquele dia.

O dia subsequente a 05/10 (dia da operação do sistema sem coagulante), em que se operou novamente o sistema de UF, foi 28/10/2016 e, neste dia a UF parou de funcionar, conforme relatado no item 4.6.1. O fato da UF ter trabalhado sem coagulante pode ter contribuído para a colmatção da membrana.

Ainda, no dia 05/10 a variação do pH no ponto UF1 ficou entre 6,73 e 7,27, sendo o mais alto valor de intervalo no período experimental.

5.2 RESULTADOS DE QUALIDADE DA ÁGUA

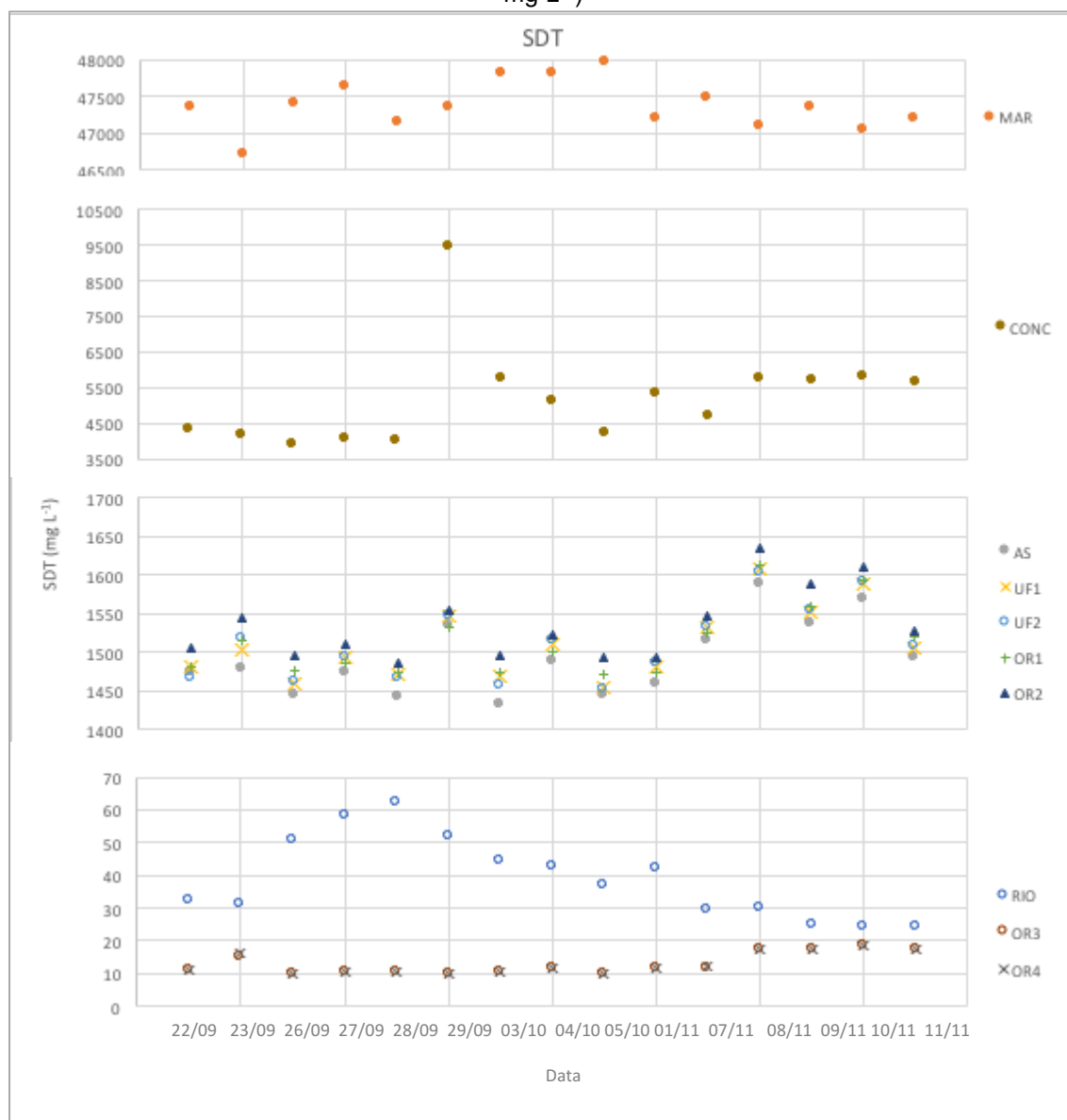
5.2.1 Concentração de SDT e condutividade elétrica

Neste estudo, a concentração de SDT, assim como a condutividade elétrica, foram medidas em equipamento de bancada (Ultrameter II, da Myron)

As Figuras 5.5 e 5.6 apresentam a variação média diária das concentrações de SDT, referentes aos dez pontos de coleta de amostra, sendo AS = água salobra; UF1

= ultrafiltração 1; UF2 = ultrafiltração 2; OR1 = osmose reversa 1; OR2 = osmose reversa 2; OR3 = osmose reversa 3; OR4 = osmose reversa 4; CONC = concentrado.

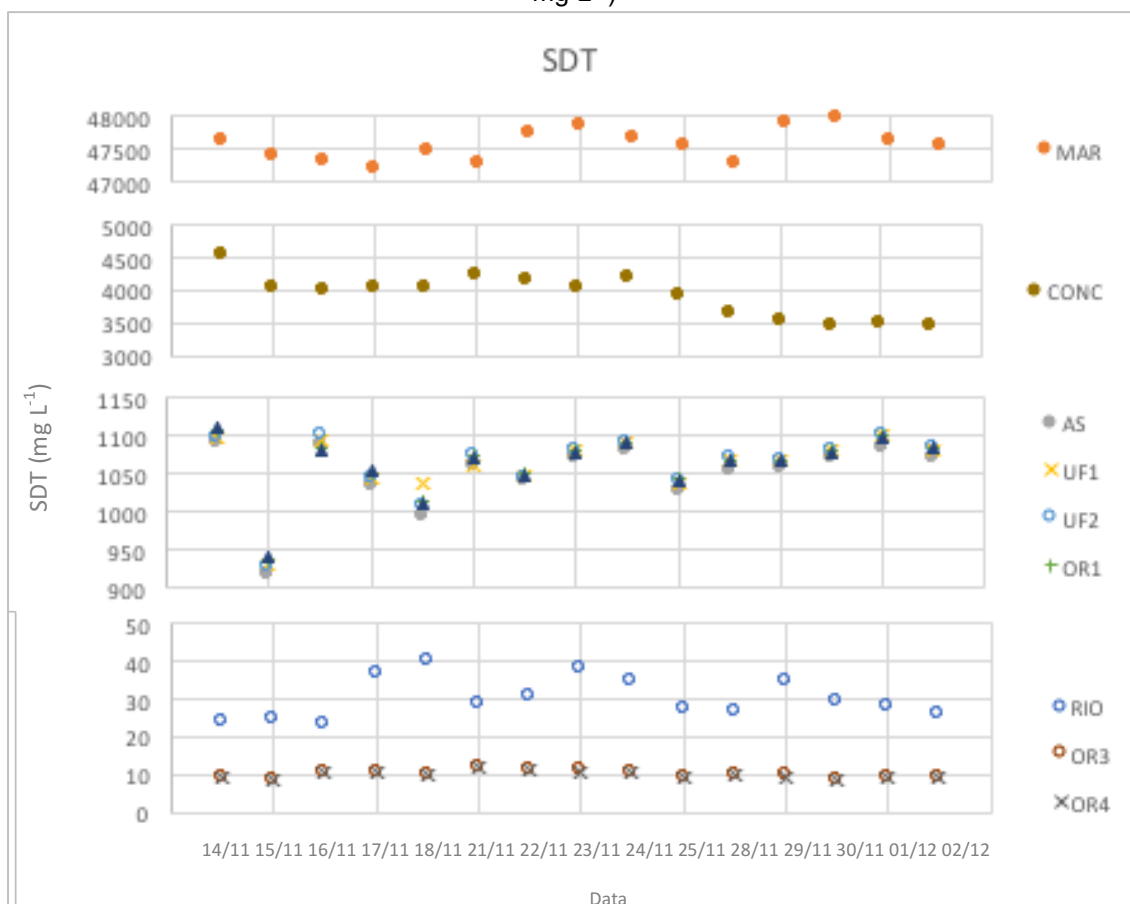
Figura 5.5 – Gráfico da variação da concentração de SDT no período de trabalho (SDT = 1500 ± 100 mg L⁻¹)



Observa-se nos gráficos das Figura 5.5 e 5.6 que os valores da concentração de SDT, nos pontos de coleta AS, UF1, UF2, OR1 e OR2, apresentam valores diários próximos, com pequena variação, bem como ocorre com os pontos OR3 e OR4.

As Figuras 5.7 e 5.8 apresentam os gráficos da média e desvio padrão de SDT e condutividade elétrica.

Figura 5.6 – Gráfico da variação da concentração de SDT no período de trabalho (SDT = 1000 ± 100 mg L⁻¹)

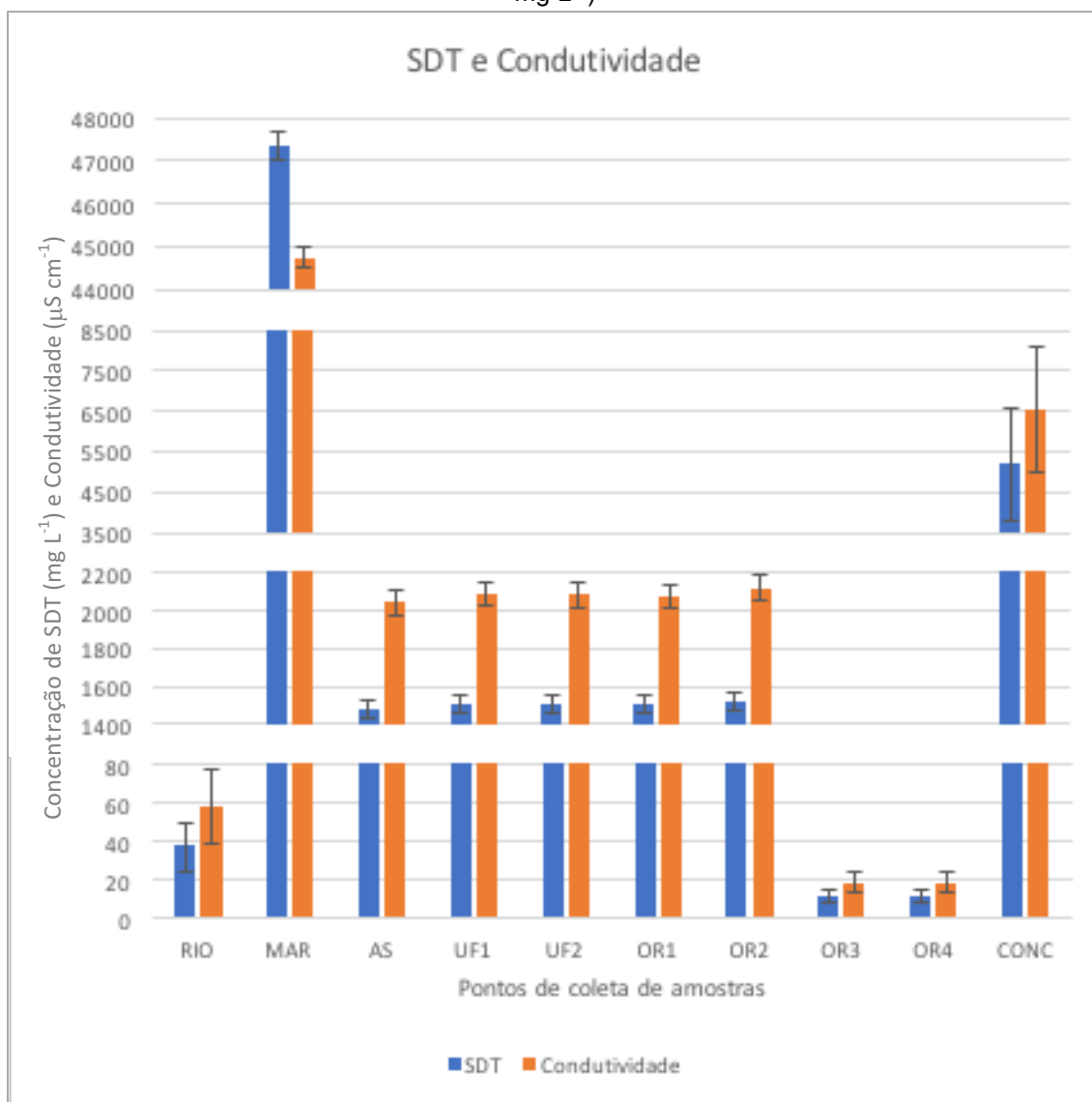


Observam-se nas Figuras 5.7 e 5.8, que a remoção dos SDT e da condutividade elétrica ocorreu após a passagem da água pela membrana de OR, no ponto OR3. O pré-tratamento na UF não foi eficiente na remoção de SDT.

A eficiência de remoção de SDT no ponto OR3, em relação à AS, foi de 99,1% e a eficiência de remoção de condutividade elétrica, 99,0%, para SDT de 1500 ± 100 mg L⁻¹, enquanto que a eficiência de remoção de SDT no ponto OR3, em relação à AS, foi de 99,0%, e a eficiência de remoção de condutividade elétrica foi de 98,9%, para SDT de 1000 ± 100 mg L⁻¹.

A concentração de SDT na AS apresentou média de 1491,02 mg L⁻¹, com dados variando entre 1423,00 e 1591,00 mg L⁻¹ e mediana de 1478,0 mg L⁻¹ para SDT de 1500 ± 100 mg L⁻¹, e para SDT de 1000 ± 100 mg L⁻¹, a concentração de SDT na AS apresentou média de 1048,81 mg L⁻¹, com dados variando entre 915,30 e 1090,00 mg L⁻¹, com mediana de SDT na AS foi 1060,0 mg L⁻¹.

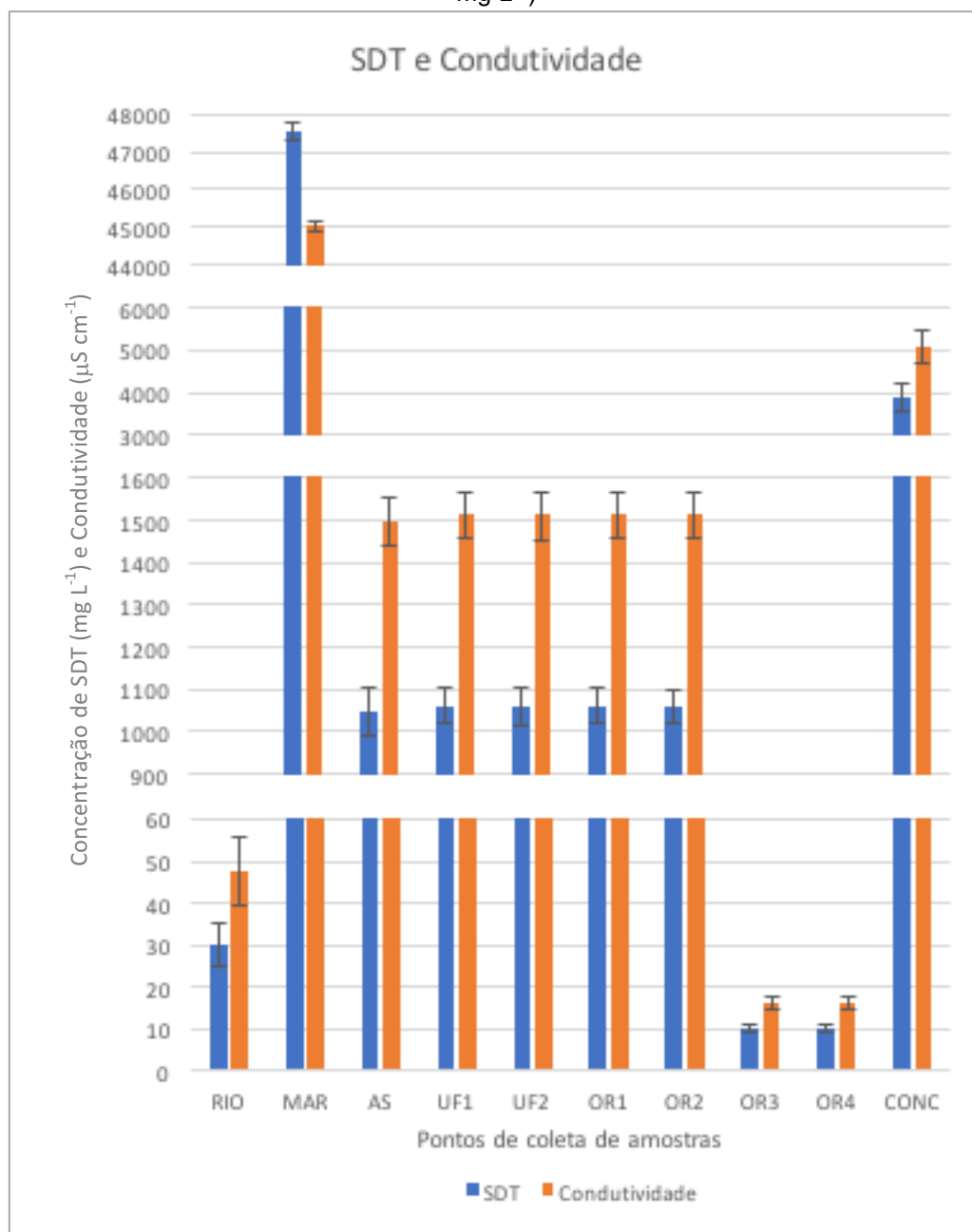
Figura 5.7 – Gráfico da média e desvio padrão de SDT e condutividade elétrica (SDT = 1500 ± 100 mg L^{-1})



Obteve-se pequena variação de dados, com coeficiente de variação variando entre 3,07 e 3,10% em UF1, UF2, OR1 e OR2 para SDT de 1500 ± 100 mg L^{-1} . A variação nas concentrações obtidas foi entre $1422,00$ mg L^{-1} e $1640,00$ mg L^{-1} , com média variando entre $1509,16$ mg L^{-1} e $1533,16$ mg L^{-1} . Para

Para o SDT para 1000 ± 100 mg L^{-1} , também se obteve pequena variação de dados, apresentando coeficiente de variação variando entre 3,81 e 4,16% em UF1, UF2, OR1 e OR2. A variação nas concentrações medidas foi entre $920,90$ mg L^{-1} e $1120,00$ mg L^{-1} . A média nestes pontos variou entre $1059,89$ mg L^{-1} e $1061,52$ mg L^{-1} .

Figura 5.8 – Gráfico da média e desvio padrão de SDT e condutividade elétrica (SDT = 1000 ± 100 mg L^{-1})



A remoção de SDT ocorreu no ponto OR3 para as duas concentrações, com média de $12,84 \text{ mg L}^{-1}$ e desvio padrão de 3,27, com dados variando entre 9,13 e $18,93 \text{ mg L}^{-1}$ e mediana de $11,63 \text{ mg L}^{-1}$ para SDT de $1500 \pm 100 \text{ mg L}^{-1}$. Nesta concentração, o concentrado apresentou média de $5192,53 \text{ mg L}^{-1}$ e mediana de $5108,00 \text{ mg L}^{-1}$, com valores variando entre $3916,00 \text{ mg L}^{-1}$ e $9479,00 \text{ mg L}^{-1}$.

O valor de $9479,00 \text{ mg L}^{-1}$ para o concentrado foi obtido em 29/09/2016. Neste dia, o abrandador fez uma regeneração (lavagem do abrandador baseada em troca iônica entre íons Na^{++} com cálcio e magnésio retidos no abrandador) e devido a este

sistema não estar bem calibrado, houve consumo de aproximadamente 75 kg de NaCl, quando em média, conforme manual do fabricante do equipamento, deveria consumir 12 kg de NaCl por regeneração. O volume de NaCl consumido neste dia, contribuiu para o acréscimo do teor de SDT no concentrado.

O segundo maior valor de SDT obtido no concentrado, para a concentração de SDT de $1500 \pm 100 \text{ mg L}^{-1}$ foi de $5788,00 \text{ mg L}^{-1}$, sendo próximo da média e mediana para este ponto.

Ainda para a concentração de SDT de $1500 \pm 100 \text{ mg L}^{-1}$, a condutividade elétrica na AS apresentou média de $2066,80 \mu\text{S cm}^{-1}$, com dados variando entre $1980,00$ e $2203,00 \mu\text{S cm}^{-1}$ e mediana de $2045,00 \mu\text{S cm}^{-1}$. Assim como no SDT, visto que estão correlacionados, a remoção da condutividade elétrica ocorreu no ponto OR3, com média de $20,61 \mu\text{S cm}^{-1}$ e desvio padrão de 5,31. A variação da condutividade em OR3 foi entre $14,57$ e $30,20 \mu\text{S cm}^{-1}$, com mediana de $18,63 \mu\text{S cm}^{-1}$.

No concentrado, a condutividade elétrica para a concentração de SDT de $1500 \pm 100 \text{ mg L}^{-1}$ também foi influenciada pela regeneração do abrandador, com valores variando entre $2002,00$ e $11250 \mu\text{S cm}^{-1}$, média de $6530,60 \mu\text{S cm}^{-1}$ e mediana de $6426,00 \mu\text{S cm}^{-1}$. A condutividade elétrica de $7274,00 \mu\text{S cm}^{-1}$ representou o segundo maior valor obtido para o concentrado.

Para a concentração de SDT de $1000 \pm 100 \text{ mg L}^{-1}$ a remoção de SDT ocorreu no ponto OR3, com média de $9,97 \text{ mg L}^{-1}$ e desvio padrão de 1,01. A variação de SDT em OR3 foi entre $8,20$ e $12,06 \text{ mg L}^{-1}$, com mediana de $9,89 \text{ mg L}^{-1}$. O concentrado apresentou média de $3917,20 \text{ mg L}^{-1}$ e mediana de $4021,00 \text{ mg L}^{-1}$, com valores variando entre $3450,00 \text{ mg L}^{-1}$ e $4557,00 \text{ mg L}^{-1}$.

A condutividade elétrica, para a concentração de SDT de $1000 \pm 100 \text{ mg L}^{-1}$, na AS apresentou média de $1.495,36 \mu\text{S cm}^{-1}$, com dados variando entre $1.317,00$ e $1.551,00 \mu\text{S cm}^{-1}$. A mediana na AS foi $1.513,00 \mu\text{S cm}^{-1}$. Assim como no SDT, visto que estão correlacionados, a remoção da condutividade elétrica ocorreu no ponto OR3, com média de $16,04 \mu\text{S cm}^{-1}$ e desvio padrão de 2,71. A variação da condutividade em OR3 foi entre $13,19$ e $19,48 \mu\text{S cm}^{-1}$, com mediana de $15,99 \mu\text{S cm}^{-1}$. No concentrado, a condutividade elétrica variou entre $4507,00$ e $5.808,00 \mu\text{S cm}^{-1}$, e média de $5.070,93 \mu\text{S cm}^{-1}$ e mediana de $5.203,00 \mu\text{S cm}^{-1}$.

Elassad et al. (2015) estudaram um sistema de osmose reversa para produção

de $1 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ de água permeada para uma comunidade do Península de Yucatán, no México. Foi utilizado neste estudo, como água de alimentação, água de poço com teor de SDT de $2154,3 \text{ mg L}^{-1}$ e água de uma cisterna que acumulava água de chuva, com teor de SDT de $68,7 \text{ mg L}^{-1}$. O sistema trabalhou separadamente com cada uma das águas de alimentação. Foram coletadas duas amostras do tanque de água do poço e duas amostras do tanque com água de chuva, durante a primavera. Após o tratamento, a concentração de SDT obtida foi de $10,2 \text{ mg L}^{-1}$, valor semelhante ao obtido nos experimentos em Praia de Leste.

5.2.2 Turbidez

As Figuras 5.9 e 5.10 apresentam os gráficos da média e desvio padrão dos valores de turbidez, nos pontos de coleta do sistema, sendo AS = água salobra; UF1 = ultrafiltração 1; UF2 = ultrafiltração 2; OR1 = osmose reversa 1; OR2 = osmose reversa 2; OR3 = osmose reversa 3; OR4 = osmose reversa 4; CONC = concentrado, sendo a primeira para SDT de $1500 \pm 100 \text{ mg L}^{-1}$ e a segunda, para SDT de $1000 \pm 100 \text{ mg L}^{-1}$.

Figura 5.9 – Gráfico da média e desvio padrão de turbidez (SDT = $1500 \pm 100 \text{ mg L}^{-1}$)

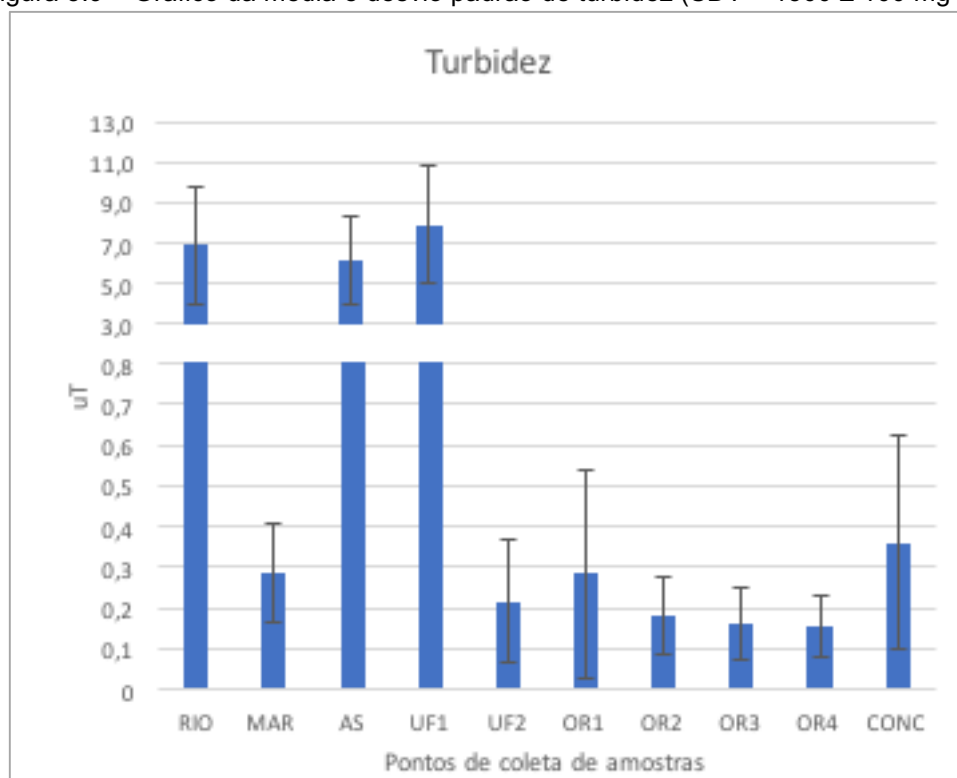
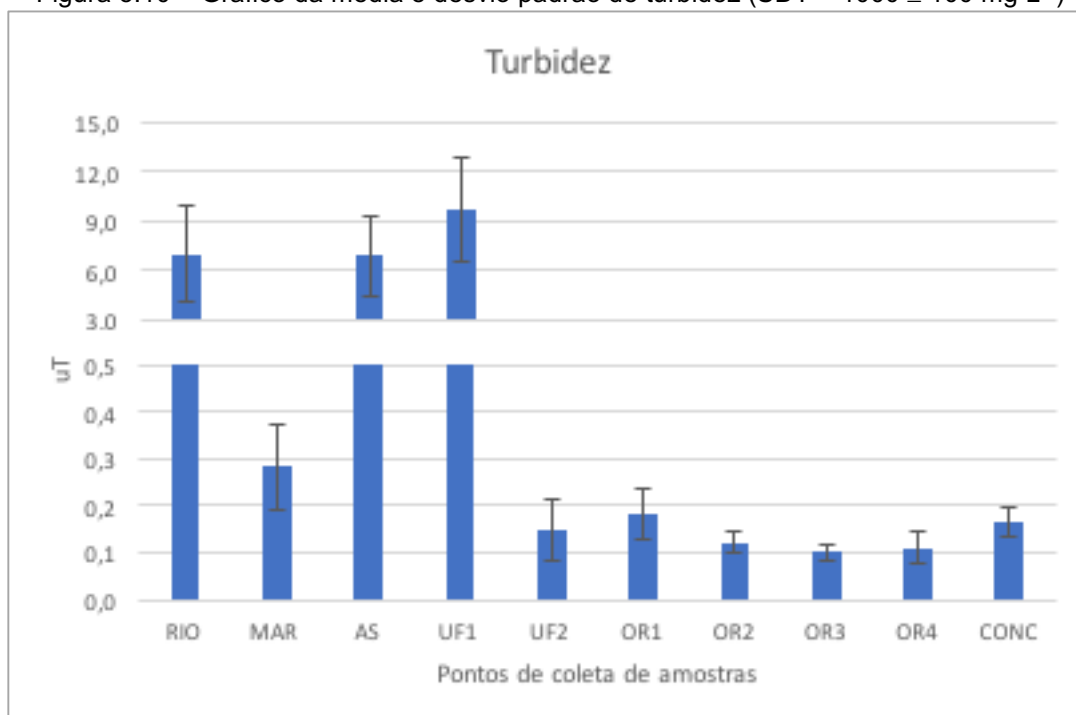


Figura 5.10 – Gráfico da média e desvio padrão de turbidez (SDT = $1000 \pm 100 \text{ mg L}^{-1}$)



As Figuras 5.9 e 5.10 mostram que a remoção da turbidez ocorreu na membrana de UF, no ponto UF2, por estar relacionada a sólidos suspensos. Também houve remoção da turbidez no ponto OR3, relacionada a sólidos de menor tamanho não retidos na membrana de UF.

A turbidez no ponto UF1 apresentou maior valor que na AS porque a adição de coagulante causou o aglutinamento das partículas sólidas presentes na água, aumentando seu tamanho e consequentemente a turbidez.

A eficiência de remoção de turbidez no ponto UF2, em relação à AS foi de 96,4% e a eficiência de remoção entre UF2 e OR3, foi de 27,2%, para a concentração de SDT de $1500 \pm 100 \text{ mg L}^{-1}$ e para a concentração de SDT de $1000 \pm 100 \text{ mg L}^{-1}$ no ponto UF2, a eficiência em relação à AS foi de 97,8% e a eficiência de remoção entre UF2 e OR3, foi de 33,3%.

Na Figura 5.9 os valores obtidos para turbidez variaram entre 3,88 e 12,0 uT na AS e apresentaram média de 6,20 uT e mediana de 5,75 uT. Na Figura 5.10, os valores variaram entre 4,37 e 11,30 uT, e apresentaram média de 6,87 uT e mediana de 5,48 uT.

A variação de turbidez na AS era esperada devido à água doce ser captada no Rio das Pombas. Águas de rio são diretamente impactadas pelas condições climáticas, variando conforme dias de sol, de chuva, e conforme as estações do ano.

A turbidez foi removida em sua maioria na membrana de UF, resultando uma variação de turbidez em UF2 entre 0,09 e 0,77 uT, com média de 0,22 uT e mediana de 0,16 uT. As Figuras 5.9 e 5.10, apresentaram variação entre 0,10 e 0,45 uT, com média de 0,15 uT e mediana de 0,13 uT.

Nos pontos OR1 e OR2 não ocorreu redução da turbidez para as duas concentrações de SDT. Estes pontos apresentaram média variando entre 0,18 e 0,28 uT, com valores variando entre 0,09 e 1,66 uT na Figura 5.9 e média variando entre 0,12 e 0,18 uT, com valores variando entre 0,09 e 0,41 uT na Figura 5.10.

O valor de 1,66 uT, obtido no ponto OR1, conforme Figura 5.9, provavelmente foi ocasionado devido a um erro de leitura, visto que o segundo maior valor obtido para turbidez no mesmo ponto de amostragem foi de 0,85 uT. A mediana, que não sofre a influência dos valores extremos, variou entre 0,15 e 0,20 uT.

Em OR3 também se observou a remoção da turbidez que era resultante de sólidos suspensos não retidos na UF e seus valores variaram entre 0,08 e 0,55 uT, com média de 0,16 uT e mediana de 0,13 uT na Figura 5.9. Na Figura 5.10 os valores variaram entre 0,08 e 0,14 uT, com média e mediana de 0,10 uT.

A turbidez de 0,55 uT em OR3 ocorreu no dia 23/09, na Figura 5.9. Neste dia, todos os valores de turbidez indicaram valores acima da média e poderiam indicar que o turbidímetro estava descalibrado. Excetuando-se o dia 23/09, a maior turbidez encontrada em OR3 foi 0,25 uT.

No concentrado, a turbidez apresentou média de 0,36 uT e mediana de 0,27 uT, com valores variando entre 0,17 e 1,12 uT. O maior valor de turbidez também ocorreu em 29/09, provavelmente influenciado pela regeneração do abrandador. O segundo maior valor de turbidez encontrado no concentrado foi 0,77 uT, na Figura 5.9. Na Figura 5.10, no concentrado, a turbidez apresentou média e mediana de 0,16 uT, com valores variando entre 0,12 e 0,22 uT.

5.2.3 Cor aparente

As Figuras 5.11 e 5.12 apresentam os gráficos da média e desvio padrão dos valores de cor aparente, em seis pontos de coleta de amostras, sendo RIO, MAR, AS, UF2, OR3 e CONC.

Figura 5.11 – Gráfico da média e desvio padrão da cor aparente ($\text{SDT} = 1500 \pm 100 \text{ mg L}^{-1}$)

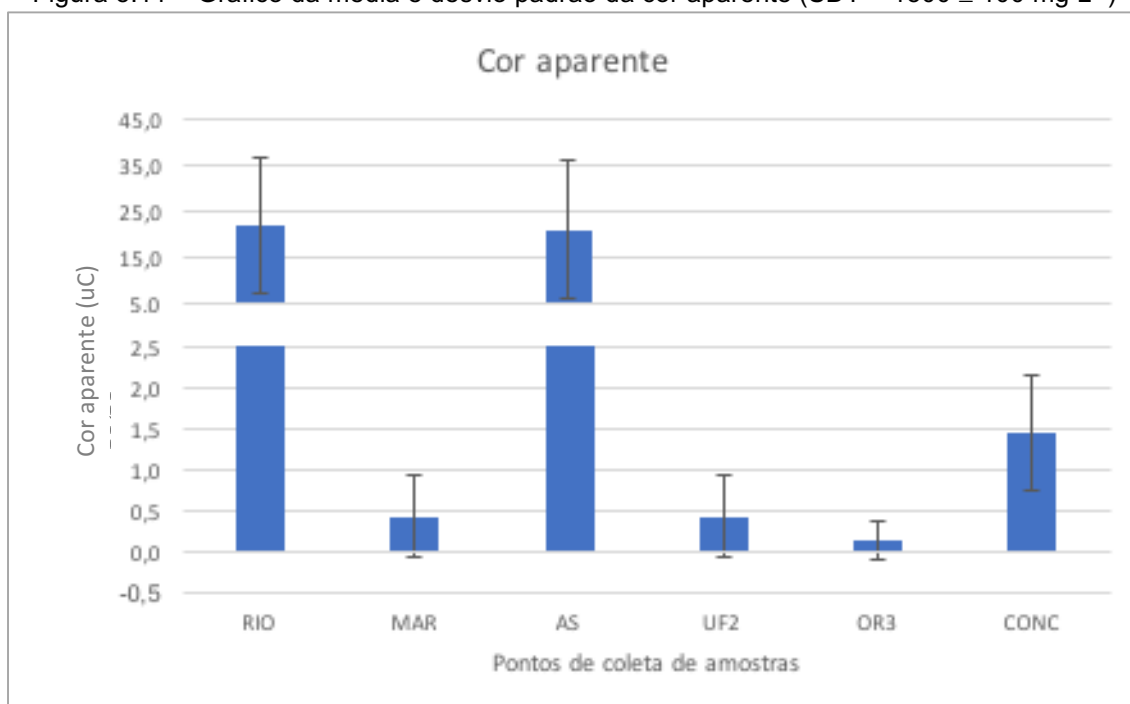
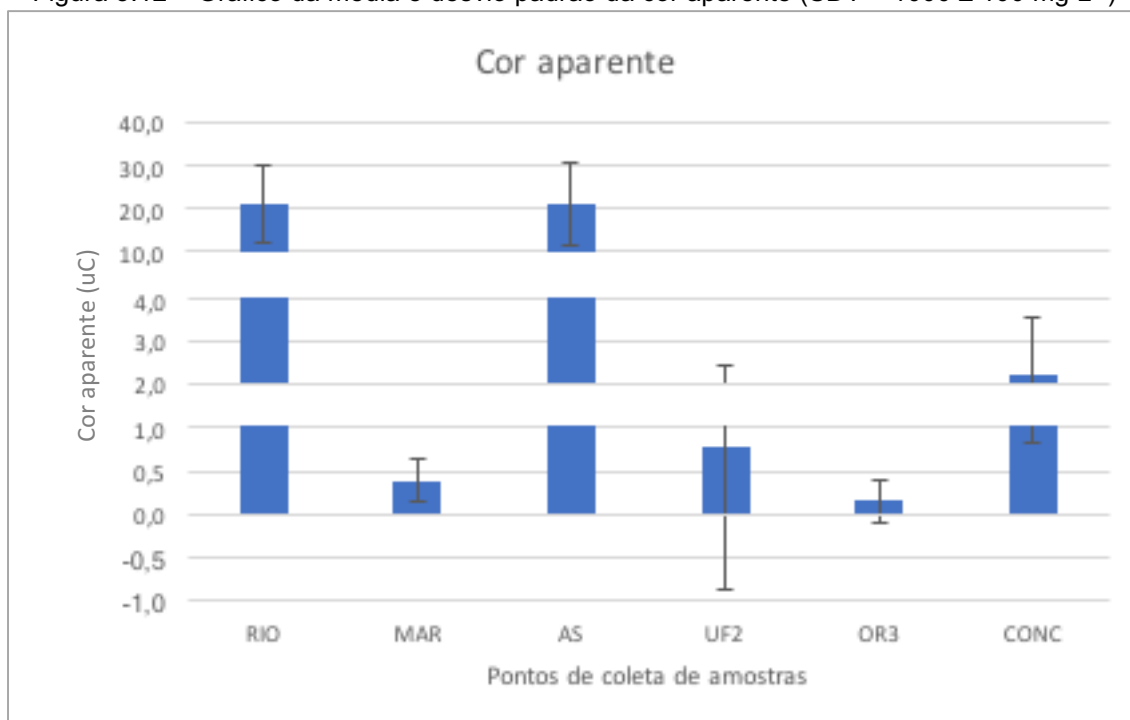


Figura 5.12 – Gráfico da média e desvio padrão da cor aparente ($\text{SDT} = 1000 \pm 100 \text{ mg L}^{-1}$)



Nas Figuras 5.11 e 5.12, observa-se que houve eficiência de remoção de cor na UF e OR. Possivelmente a redução da cor aparente, relacionada à turbidez, ocorreu em UF2, visto que apenas sólidos suspensos eram removidos na UF. O

material dissolvido, que compunha a cor verdadeira, permeou pela membrana de UF e alimentou a OR, com remoção no ponto OR3.

A eficiência de remoção de cor no ponto UF2, em relação à AS, foi de 98,0% e em OR3, em relação à UF2, foi de 69,0%, na Figura 5.11. Na Figura 5.12, a eficiência de remoção de cor no ponto UF2, em relação à AS, foi de 96,2% e em OR3, em relação à UF2, foi de 79,2%

A cor aparente na AS variou entre 6,90 e 47,80 uC, com média de 20,83 uC e mediana de 9,05 uC, na Figura 5.11. Na Figura 5.12 a cor aparente na AS variou entre 8,70 e 37,30 uC, com média de 21,31 uC e mediana de 21,10 uC.

Assim como na turbidez, também era esperada variação na AS para a cor aparente, devido às alterações na qualidade da água do rio sofre com as alterações climáticas.

Em UF2 a cor aparente variou entre ausência de cor e 1,40 uC, com média de 0,42 uC e mediana de 0,15 uC na Figura 5.11. Na Figura 5.12, a remoção de cor aparente variou entre ausência de cor e 10,70 uC, com média de 0,77 uC e mediana de 0,30 uC, naquele ponto.

Observou-se remoção de cor relacionada aos sólidos dissolvidos não retidos na membrana de UF no ponto OR3, com média de 0,13 uC e mediana indicando ausência de cor. Os dados em OR3 variam entre ausência de cor e 0,90 uC. Na Figura 5.12, os dados obtidos variaram entre ausência de cor e 1,10 uC, com média de 0,16 uC e mediana indicando ausência de cor.

No concentrado, na Figura 5.11, os valores obtidos variam entre 0,50 e 2,80 uC, com média de 1,45 uC e mediana de 1,40 uC. O maior valor de cor aparente também ocorreu em 29/09, provavelmente influenciado pela regeneração do abrandador.

Para a concentração de SDT de $1000 \pm 100 \text{ mg L}^{-1}$, o valor de 10,70 uC em UF2, foi obtido em 21/11/2016 e possivelmente foi decorrente a um erro na coleta da amostra ou de leitura. O segundo maior valor obtido para cor aparente neste ponto foi 1,60 uC. O valor de 1,10 uC em OR3, foi obtido em 30/11/2016. O segundo maior valor obtido para cor aparente neste ponto foi 0,60 uC.

5.2.4 pH

As Figuras 5.13 e 5.14 apresentam os gráficos da média e desvio padrão dos valores de pH, em quatro diferentes pontos de coleta de amostras do sistema, sendo AS, UF2, OR3 e CONC.

Figura 5.13 – Gráfico da média e desvio padrão do pH (SDT = $1500 \pm 100 \text{ mg L}^{-1}$)

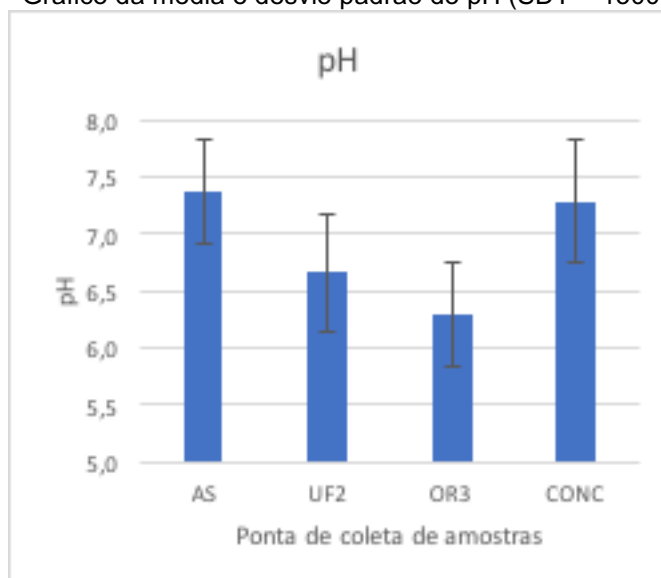
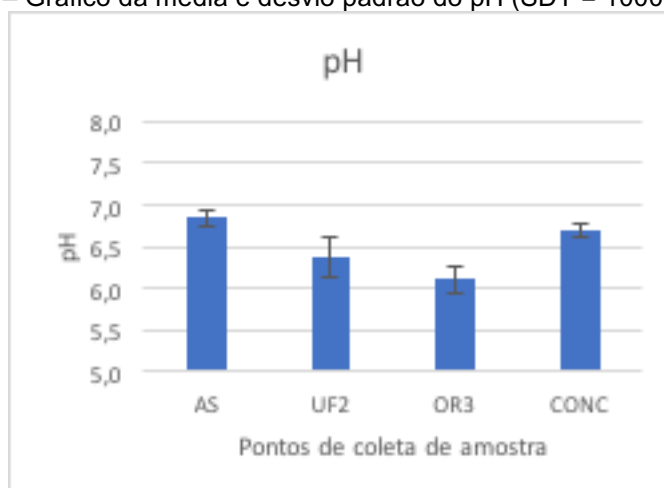


Figura 5.14 – Gráfico da média e desvio padrão do pH (SDT = $1000 \pm 100 \text{ mg L}^{-1}$)



A redução do pH em UF2, nas Figuras 5.13 e 5.14, foi devido à adição de PAC e à redução dos sólidos em suspensão. A redução do pH no ponto OR3 foi devido à redução da concentração de sólidos dissolvidos.

Figura 5.15 – Gráfico da variação diária de pH (SDT = $1500 \pm 100 \text{ mg L}^{-1}$)

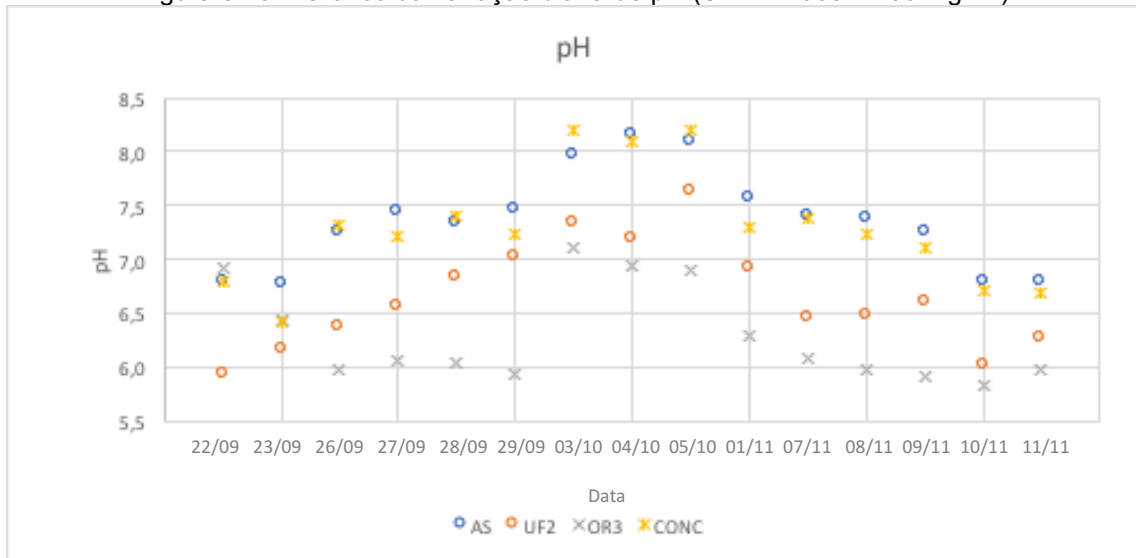
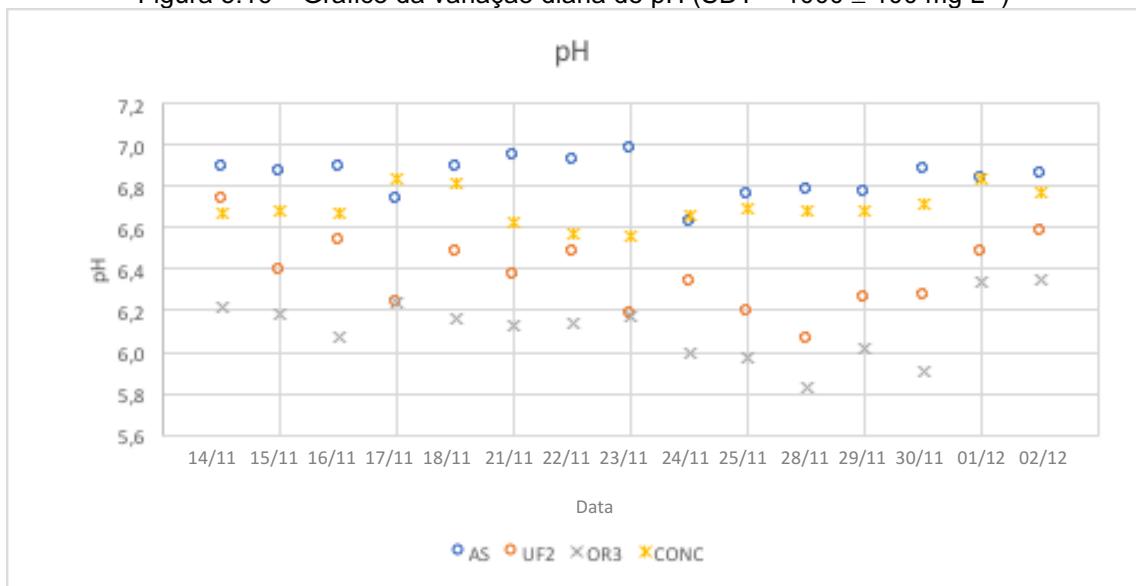


Figura 5.16 – Gráfico da variação diária de pH (SDT = $1000 \pm 100 \text{ mg L}^{-1}$)



As Figuras 5.15 e 5.16 apresentam os valores da variação diária de pH, durante a realização dos experimentos.

Observa-se, nas Figuras 5.13, 5.14, 5.15 e 5.16, que na maior parte dos dias, os pontos de coleta com menor concentração de sólidos apresentaram o menor pH.

Elasaad et al. (2015), obtiveram pH de 7,78 para a água de poço, 7,575 para a água de chuva e de 6,62 para a água permeada, segundo os autores. O pH sofreu influência da adição de químicos, como anti scaling e anti fouling no processo de tratamento.

5.2.5 Alcalinidade

As Figuras 5.17 e 5.18 apresentam os gráficos da média e desvio padrão dos valores de alcalinidade, em quatro diferentes pontos de coleta de água do sistema, sendo AS, UF2, OR3 e CONC.

Figura 5.17 – Gráfico da média e desvio padrão da alcalinidade ($\text{SDT} = 1500 \pm 100 \text{ mg L}^{-1}$)

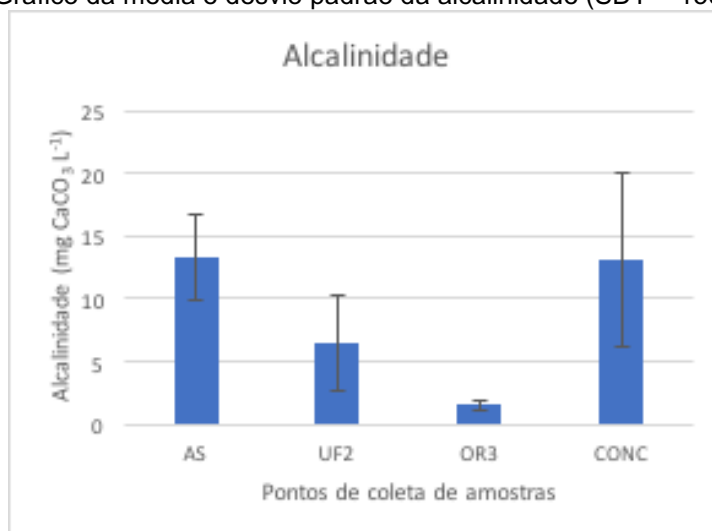
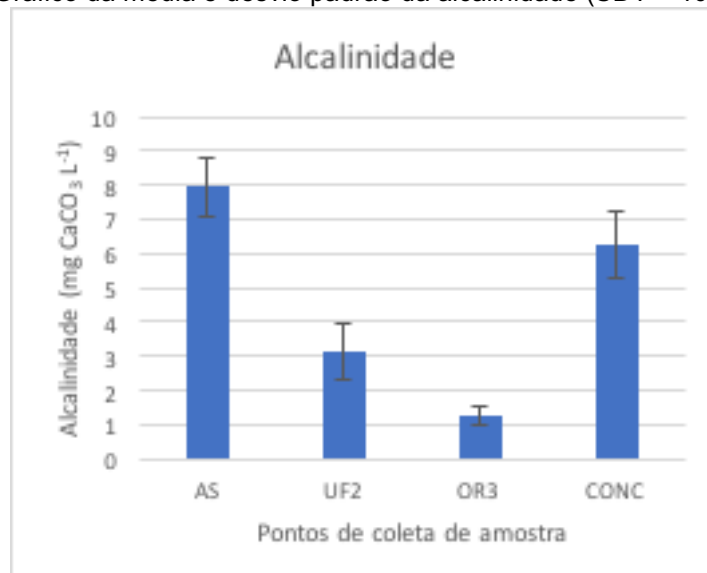


Figura 5.18 – Gráfico da média e desvio padrão da alcalinidade ($\text{SDT} = 1000 \pm 100 \text{ mg L}^{-1}$)



A redução da alcalinidade no ponto UF2, nas duas concentrações de SDT, pode estar relacionada ao consumo de cálcio na reação com o coagulante (PAC), visto que a membrana de UF não tem capacidade de remoção de sólidos dissolvidos. Também não se pode afirmar com certeza que a remoção da alcalinidade ocorreu devido à membrana de OR, pois o valor encontrado para a alcalinidade no ponto OR3

pode ter sido influenciado pelo sistema de abrandamento que remove cálcio e magnésio.

A eficiência da remoção da alcalinidade só pode ser avaliada em relação à alcalinidade de entrada e a de saída do sistema. Dessa forma, a eficiência de remoção da alcalinidade no sistema piloto de foi de 88,8% na Figura 5.17 e de 84,1% na Figura 5.18.

A alcalinidade na AS variou entre 8,46 e 19,57 mg L⁻¹, com média 13,28 mg L⁻¹ e mediana de 12,78 mg L⁻¹ na Figura 5.17 e variou entre 6,33 e 9,73 mg L⁻¹, com média 7,94 mg L⁻¹, e mediana de 7,81 mg L⁻¹ na Figura 5.18.

A remoção da alcalinidade no final do tratamento, em OR3, apresentou média de 1,49 mg L⁻¹, mediana de 1,54 mg L⁻¹, com valores variando entre 0,62 mg L⁻¹ e 2,54 mg L⁻¹ e desvio padrão de 0,39. Na Figura 5.17, se obteve média de 1,26 mg L⁻¹, mediana de 1,31 mg L⁻¹, com valores variando entre 0,55 mg L⁻¹ e 1,71 mg L⁻¹ e desvio padrão de 0,29, na Figura 5.18, no mesmo ponto.

No concentrado os dados obtidos variam entre 4,05 e 24,43 mg L⁻¹, com média de 13,09 mg L⁻¹ e mediana de 11,45 mg L⁻¹, com desvio padrão de 0,39, na Figura 5.17 e variam entre 4,46 e 7,89 mg L⁻¹, com média de 6,24 mg L⁻¹, mediana de 6,21 mg L⁻¹ e desvio padrão de 1,00, na Figura 5.18.

Elasaad et al. (2015) obtiveram alcalinidade de 115 mg L⁻¹ na água de poço, 46,5 mg L⁻¹ para a água de chuva e de 12,5 mg L⁻¹ na água permeada, sendo valores superiores aos obtidos em Praia de Leste.

5.2.6 Dureza total

As Figuras 5.19 e 5.20 apresentam os gráficos da média e desvio padrão dos valores de dureza, em quatro diferentes pontos de coleta do sistema, sendo AS, UF2, OR3 e CONC.

As Figuras 5.19 e 5.20 mostram a remoção da dureza total no ponto OR3, porém não se pode afirmar com certeza que a remoção da dureza ocorreu na OR, visto que o sistema de abrandamento também remove cálcio e magnésio. Seria necessário conhecer a dureza total no ponto OR2 para se avaliar o desempenho da membrana na remoção deste parâmetro.

Assim, não se pode avaliar a eficiência das unidades de tratamento de forma individual, apenas do sistema como um todo. O sistema piloto apresentou eficiência de 100% na remoção de dureza total, na Figura 5.19 e de 99,2%, na Figura 5.20.

Figura 5.19 – Gráfico da média e desvio padrão da dureza total (SDT = $1500 \pm 100 \text{ mg L}^{-1}$)

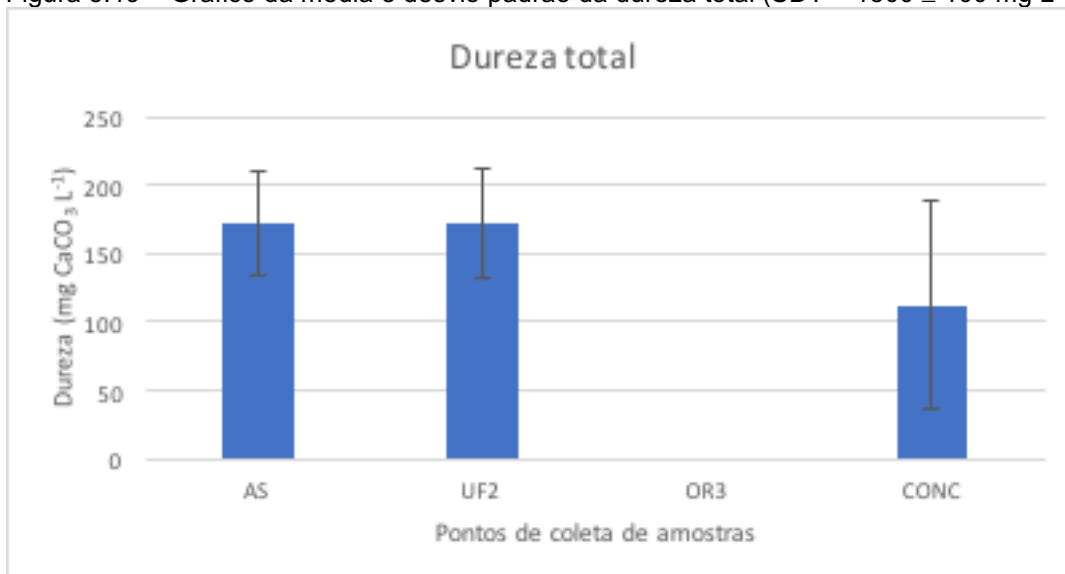
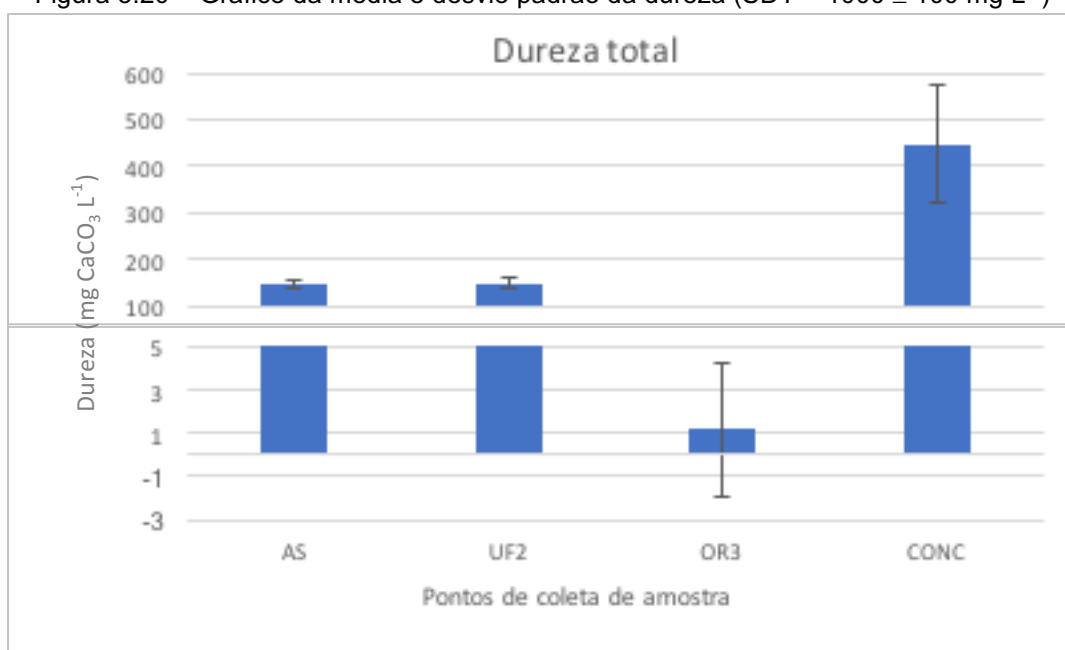


Figura 5.20 – Gráfico da média e desvio padrão da dureza (SDT = $1000 \pm 100 \text{ mg L}^{-1}$)



A dureza total na AS apresentou média de $172,18 \text{ mg L}^{-1}$ e mediana de $163,10 \text{ mg L}^{-1}$, com valores variando entre $101,14 \text{ mg L}^{-1}$ e $235,71 \text{ mg L}^{-1}$ na Figura 5.19 e apresentou média de $143,81 \text{ mg L}^{-1}$ e mediana de $144,09 \text{ mg L}^{-1}$, com valores variando entre $120,00 \text{ mg L}^{-1}$ e $162,37 \text{ mg L}^{-1}$ na Figura 5.20.

Em OR3, ao final do tratamento, todas as amostras analisadas apresentaram ausência de dureza na Figura 5.19 e na Figura 5.20, as amostras apresentaram média de $1,17 \text{ mg L}^{-1}$, com mediana indicando ausência de dureza total, apresentando valores variando entre ausência de dureza total e $11,34 \text{ mg L}^{-1}$.

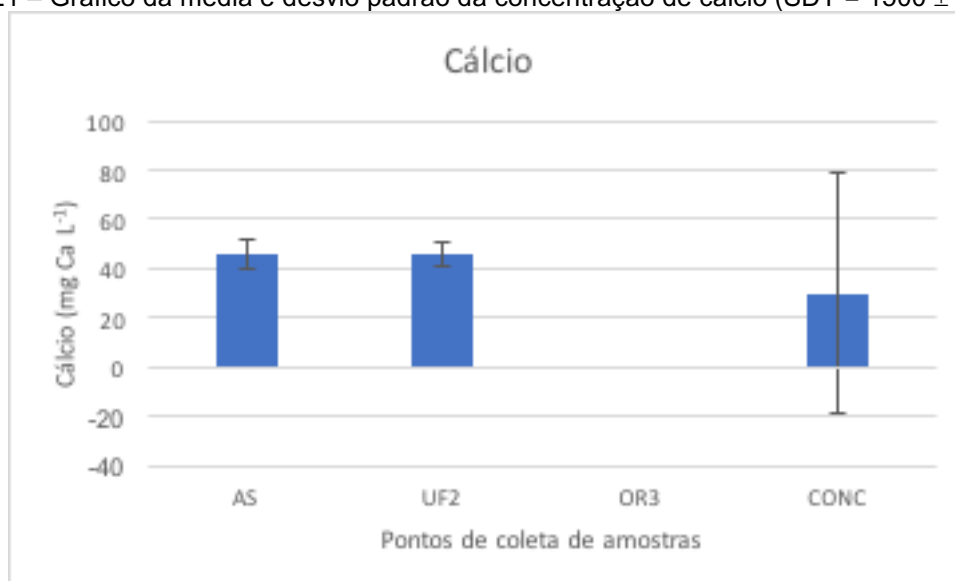
No concentrado os dados obtidos variam entre 29,76 e 294,74 mg L⁻¹, com média de 112,00 mg L⁻¹ e mediana de 120,46 mg L⁻¹ na Figura 5.19. Na Figura 5.20, os dados obtidos variam entre 112,90 e 575,27 mg L⁻¹, com média de 447,36 mg L⁻¹ e mediana de 480,65 mg L⁻¹.

Elasaad et al. (2015), obtiveram dureza de 1737,15 mg L⁻¹ para a água de poço, 33,5 mg L⁻¹ para a água de chuva e de 1 mg L⁻¹ para a água permeada, sendo valores semelhantes aos obtidos em Praia de Leste.

5.2.7 Cálcio

As Figuras 5.21 e 5.22 apresentam os gráficos da média e desvio padrão dos valores de cálcio, em quatro diferentes pontos de coleta de amostras do sistema, sendo AS, UF2, OR3 e CONC.

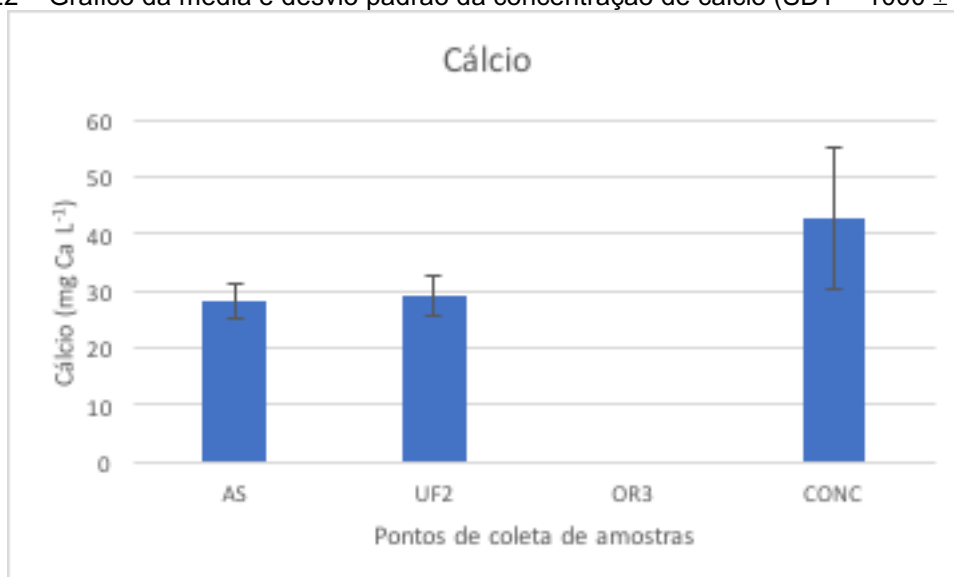
Figura 5.21 – Gráfico da média e desvio padrão da concentração de cálcio (SDT = 1500 ± 100 mg L⁻¹)



A remoção do cálcio, conforme Figuras 5.21 e 5.22, ocorreu no ponto OR3, porém não se pode afirmar com certeza que a remoção ocorreu apenas na OR, visto que o sistema de abrandamento pode ter auxiliado na sua remoção. Para se poder avaliar de forma precisa a eficiência dos sistemas que contribuíram para a remoção do cálcio, seria necessário se conhecer a concentração de cálcio no ponto OR2.

Dessa forma, a eficiência do sistema piloto de tratamento, para a remoção de cálcio foi de 100% para as duas concentrações de SDT estudadas.

Figura 5.22 – Gráfico da média e desvio padrão da concentração de cálcio (SDT = $1000 \pm 100 \text{ mg L}^{-1}$)



Os valores obtidos para cálcio na AS variaram entre 32,26 e 64,77 mg L^{-1} , com média de 46,09 mg L^{-1} e mediana de 45,46 mg L^{-1} na Figura 5.21 e na Figura 5.22, os valores obtidos variaram entre 21,51 e 34,41 mg L^{-1} , com média de 28,20 mg L^{-1} e mediana de 27,96 mg L^{-1} .

No concentrado os dados obtidos variam entre ausência de cálcio e 195,46 mg L^{-1} , com média de 29,70 mg L^{-1} e mediana de 12,50 mg L^{-1} na Figura 5.21. Na Figura 5.22, os dados obtidos variam entre 24,73 e 63,64 mg L^{-1} , com média de 42,75 mg L^{-1} e mediana de 40,86 mg L^{-1} .

O valor de 195,46 mg L^{-1} para o concentrado, na Figura 5.21, foi obtido em 29/09, dia em que o sistema de abrandamento realizou uma regeneração. Portanto esse valor indica a quantidade de cálcio com concentração adicional devido a regeneração do abrandador. O segundo dia com maior concentração de cálcio no concentrado ocorreu em 01/11, atingindo a concentração de 51,10 mg L^{-1} .

No estudo de Elasaad et al. (2015), apresentou concentração de cálcio de 527,1 mg L^{-1} para a água de poço, 12,995 mg L^{-1} para a água de chuva e de 0,39 mg L^{-1} para a água permeada. O sistema piloto de Praia de Leste removeu todo o cálcio.

5.2.8 Magnésio

As Figuras 5.23 e 5.24 apresentam os gráficos da média e desvio padrão dos valores de magnésio, em quatro diferentes pontos de coleta de amostras do sistema, sendo AS, UF2, OR3 e CONC.

Figura 5.23 – Gráfico da média e desvio padrão da concentração de magnésio (SDT = $1500 \pm 100 \text{ mg L}^{-1}$)

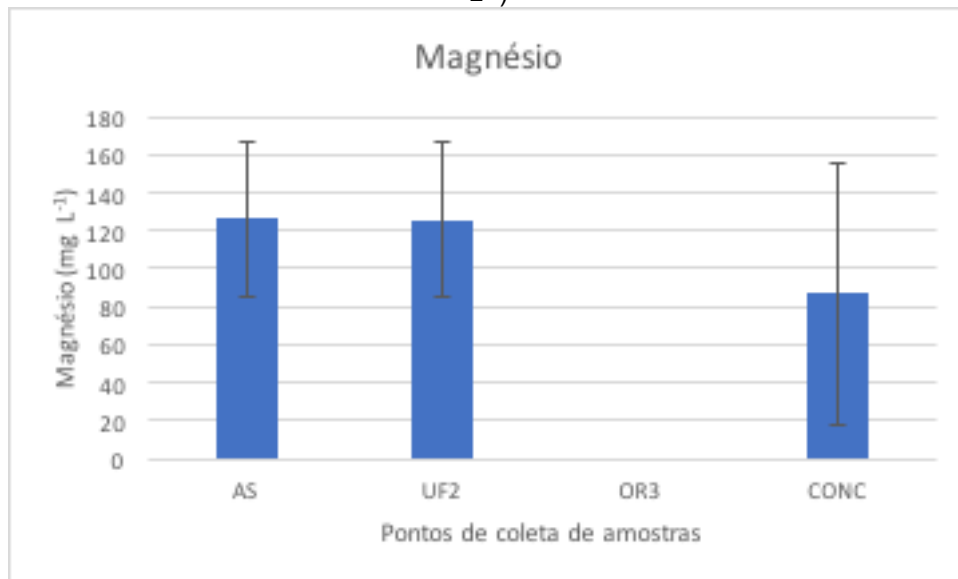
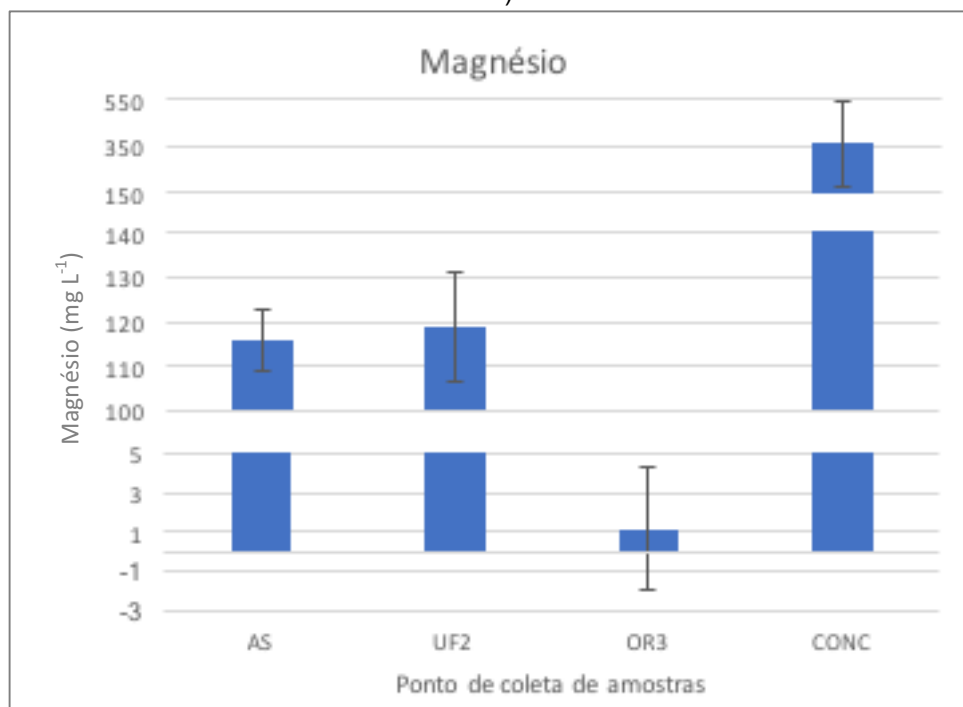


Figura 5.24 – Gráfico da média e desvio padrão da concentração de magnésio (SDT = $1000 \pm 100 \text{ mg L}^{-1}$)



A remoção do magnésio, conforme apresentado nas Figuras 5.23 e 5.24, ocorreu no ponto OR3, porém não se pode afirmar com certeza que a remoção ocorreu apenas na OR, pois o sistema de abrandamento pode ter contribuído para a sua remoção. Para se poder avaliar a eficiência dos sistemas que contribuíram para

a remoção do magnésio, seria necessário se conhecer a concentração de magnésio no ponto OR2.

A eficiência do sistema piloto para a remoção de magnésio foi de 100% na Figura 5.23 e de 99,0%, na Figura 5.24.

Os valores obtidos para magnésio na AS apresentaram média de 126,09 mg L⁻¹ e mediana de 123,32 mg L⁻¹, com valores variando entre 50,00 e 189,12 mg L⁻¹ na Figura 5.23. Na Figura 5.24, os valores obtidos apresentaram média de 115,61 mg L⁻¹ e mediana de 115,18 mg L⁻¹, com valores variando entre 94,19 e 127,96 mg L⁻¹.

Em OR3, na Figura 5.23, ao final do tratamento, todas as amostras analisadas apresentaram ausência de magnésio. Na Figura 5.24, no mesmo ponto as amostras variaram entre ausência de magnésio e 11,34 mg L⁻¹, com média de 1,17 mg L⁻¹ e mediana indicando ausência de magnésio. A maior parte das amostras deste ponto, indicou ausência de magnésio.

No concentrado os dados obtidos variam entre ausência de magnésio e 239,06 mg L⁻¹, com média de 86,76 mg L⁻¹ e mediana de 76,19 mg L⁻¹ na Figura 5.23. Na Figura 5.24, os dados obtidos variam entre 80,65 e 526,967 mg L⁻¹, com média de 404,61 mg L⁻¹ e mediana de 430,13 mg L⁻¹.

Em 29/09, dia da regeneração dos abrandadores, foi quando que se obteve ausência de magnésio no concentrado, na concentração de SDT de 1500 ± 100 mg L⁻¹.

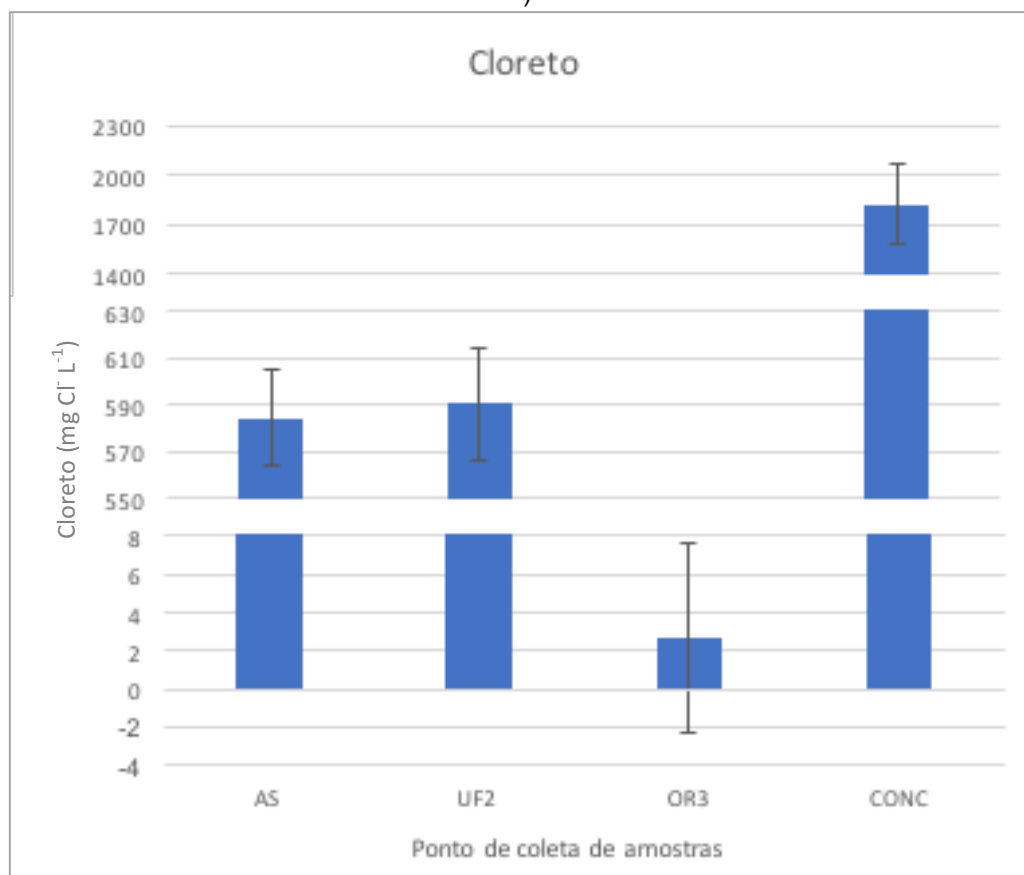
O estudo de Elasaad et al. (2015), apresentou teor de magnésio de 102,23 mg L⁻¹ para a água de poço, 0,275 mg L⁻¹ para a água de chuva e de 0,01 mg L⁻¹ para a água permeada, sendo semelhante com o que ocorreu com o resultado obtido para a contração de 1500 mg L⁻¹ de SDT, no sistema piloto de Praia de Leste.

5.2.9 Cloretos

As Figuras 5.25 e 5.36 apresentam os gráficos da média e desvio padrão dos valores de cloreto, em quatro diferentes pontos de coleta de amostras do sistema, sendo AS, UF2, OR3 e CONC.

Nas Figuras 5.25 e 5.26 observa-se que a concentração de cloreto aumentou entre a AS e a UF2. Isso ocorreu devido ao processo de coagulação, onde foi adicionado PAC, que tem cloreto em sua formulação.

Figura 5.25 – Gráfico da média e desvio padrão da concentração de cloreto (SDT = $1500 \pm 100 \text{ mg L}^{-1}$)



A remoção dos cloretos, por serem sólidos dissolvidos, ocorreu após a passagem da água pela membrana de OR, porém não se pode afirmar com certeza de que apenas na OR contribuiu para a remoção total da concentração de cloretos observada em OR3, visto que cloretos associados ao estrôncio, poderiam ter sido removidos no sistema de abrandamento. Dessa forma, seria necessário se conhecer a concentração de cloretos no ponto OR2 para se avaliar a eficiência de remoção na membrana de OR.

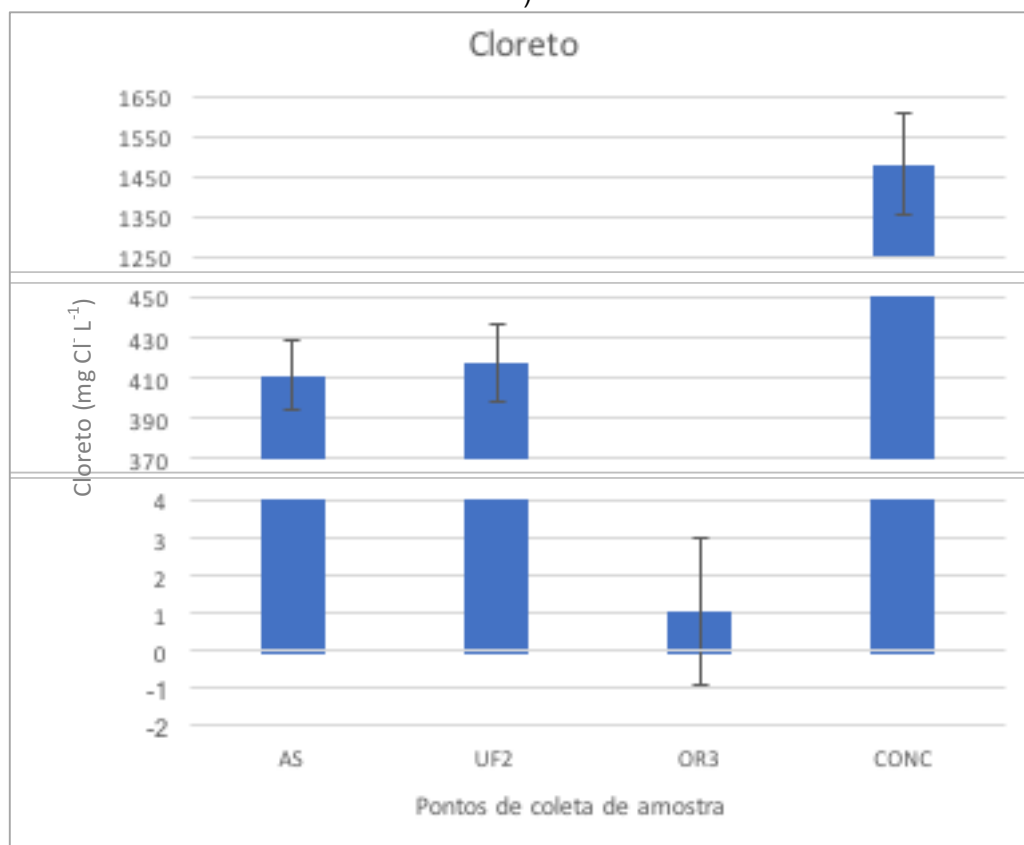
A eficiência do sistema piloto para remoção dos cloretos foi de 99,5%, na Figura 5.25, e de 99,7%, na Figura 5.26.

A concentração de cloretos na AS variou entre 513,05 e 614,10 mg L^{-1} , com média de 584,15 mg L^{-1} e mediana de 587,76 mg L^{-1} na Figura 5.25. Na Figura 5.26, a concentração de cloretos na AS variou entre 370,78 e 464,65 mg L^{-1} , com média de 411,29 mg L^{-1} e mediana de 410,40 mg L^{-1} .

Ao final do tratamento, em OR3, a concentração variou entre ausência de cloretos e 24,01 mg L^{-1} , com média de 2,67 mg L^{-1} , mediana indicando ausência de

cloretos na Figura 5.25, entre ausência de cloretos e $4,77 \text{ mg L}^{-1}$, com média de $2,67 \text{ mg L}^{-1}$ e mediana indicando ausência de cloretos, na Figura 5.26.

Figura 5.26 – Gráfico da média e desvio padrão da concentração de cloreto (SDT = $1000 \pm 100 \text{ mg L}^{-1}$)



A maior parte das análises em OR3 indicou a ausência de cloretos nas amostras para as duas concentrações estudadas.

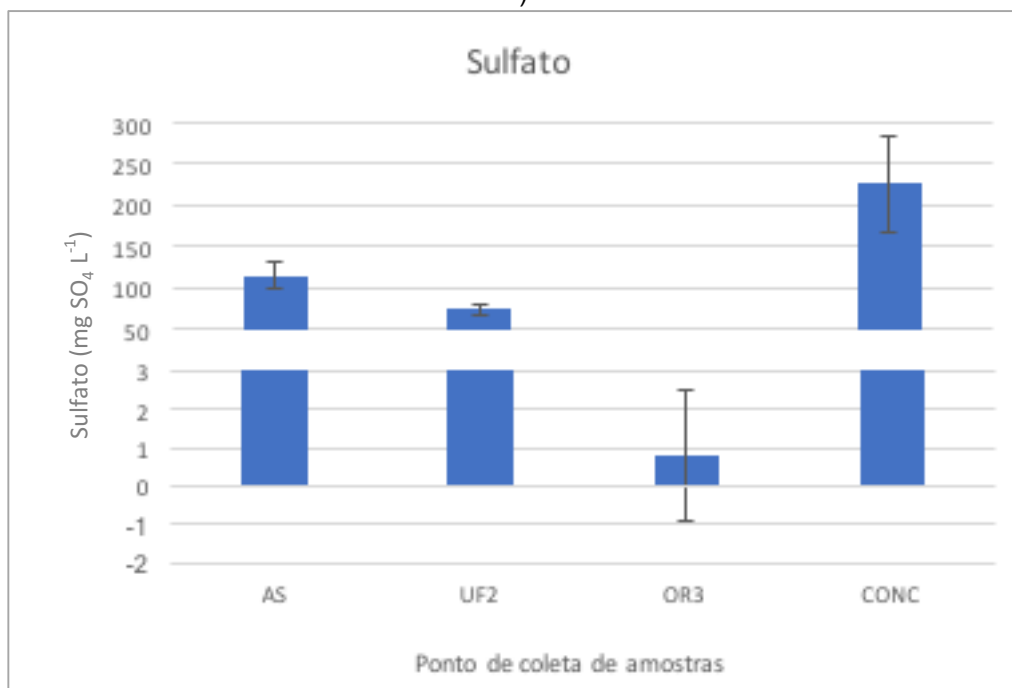
No concentrado os dados obtidos variam entre $1474,38$ e $2271,34 \text{ mg L}^{-1}$, com média de $1825,83 \text{ mg L}^{-1}$ e mediana de $1751,84 \text{ mg L}^{-1}$ na Figura 5.25 e entre $1293,24$ e $1689,62 \text{ mg L}^{-1}$, com média de $1480,21 \text{ mg L}^{-1}$ e mediana de $1488,90 \text{ mg L}^{-1}$ na Figura 5.26.

O estudo de Elasaad et al. (2015), apresentou teor de cloretos de $157,93 \text{ mg L}^{-1}$ para a água de poço, $4,825 \text{ mg L}^{-1}$ para a água de chuva e de $1,96 \text{ mg L}^{-1}$ para a água permeada, sendo semelhante aos resultados obtidos em Praia de Leste.

5.2.10 Sulfatos

As Figuras 5.27 e 5.28 apresentam os gráficos da média e desvio padrão dos valores de sulfato, em quatro diferentes pontos de coleta de amostras do sistema, sendo AS, UF2, OR3 e CONC.

Figura 5.27 – Gráfico da média e desvio padrão da concentração de sulfato (SDT = $1500 \pm 100 \text{ mg L}^{-1}$)



Nas Figuras 5.27 e 5.28 observa-se que a remoção da concentração de sulfato ocorreu no ponto OR3, porém não se pode afirmar com certeza de que a remoção dos sulfatos ocorreu exclusivamente na membrana de OR, visto que sua remoção também pode ter sido causada pelo sistema de abrandamento, mas isso apenas poderia ser confirmado caso se conhecesse a concentração de sulfato no ponto OR2.

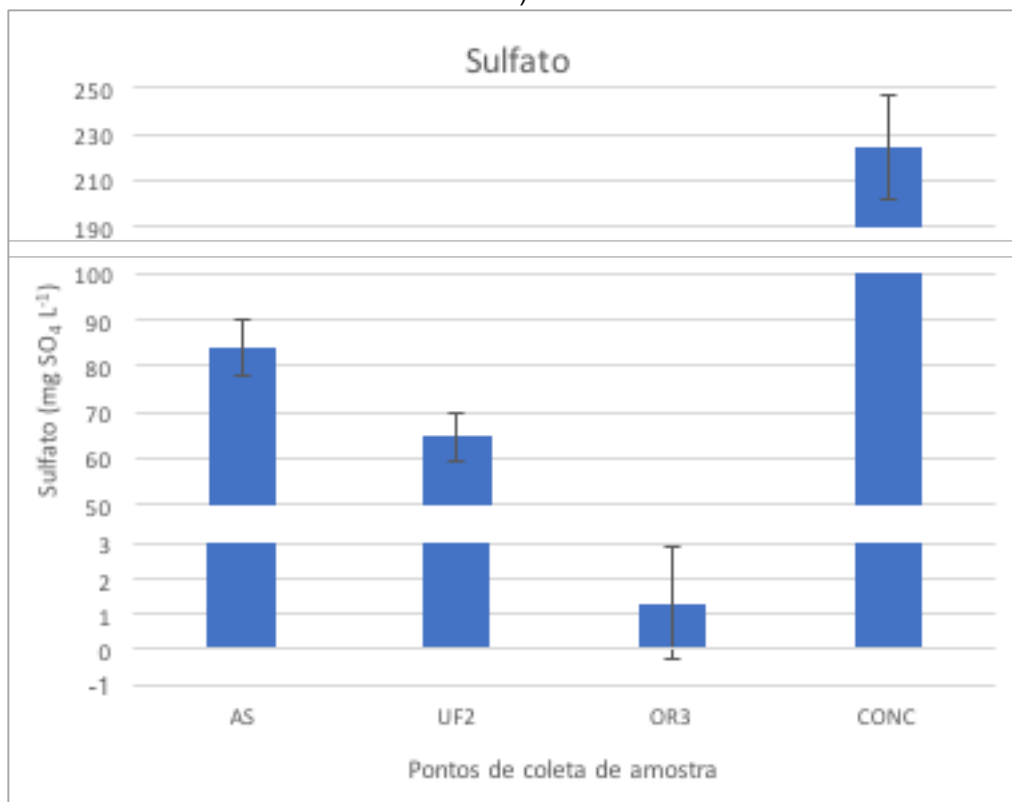
A eficiência da remoção de sulfatos pelo sistema piloto foi de 99,1%, na Figura 5.27 e de 98,4% na Figura 5.28.

A concentração de sulfatos na AS variou entre 95,10 e 156,30 mg L^{-1} , com média de 115,38 mg L^{-1} e mediana de 110,80 mg L^{-1} na Figura 5.27. Na Figura 5.28, variou entre 75,15 e 102,10 mg L^{-1} , com média de 84,11 mg L^{-1} e mediana de 82,14 mg L^{-1} .

Ao final do tratamento, em OR3, a concentração variou entre ausência de sulfatos e 7,20 mg L^{-1} , com média de 0,80 mg L^{-1} e mediana indicando ausência de

sulfatos na Figura 5.27. Na Figura 5.28 a concentração variou entre ausência de cloretos e $6,82 \text{ mg L}^{-1}$, com média de $1,31 \text{ mg L}^{-1}$ e mediana de $1,09 \text{ mg L}^{-1}$.

Figura 5.28 – Gráfico da média e desvio padrão da concentração de sulfato (SDT = $1000 \pm 100 \text{ mg L}^{-1}$)



A maior parte das análises em OR3 indicou a ausência de sulfatos para a concentração de $1500 \pm 100 \text{ mg L}^{-1}$.

No concentrado os dados obtidos variam entre $151,40$ e $341,60 \text{ mg L}^{-1}$, com média de $226,48 \text{ mg L}^{-1}$ e mediana de $208,50 \text{ mg L}^{-1}$ na Figura 5.27. Na Figura 5.28 os dados obtidos variam entre $184,38$ e $269,00 \text{ mg L}^{-1}$, com média de $224,76 \text{ mg L}^{-1}$ e mediana de $221,06 \text{ mg L}^{-1}$.

O estudo de Elasaad et al. (2015), apresentou teor de sulfatos de $2029,18 \text{ mg L}^{-1}$ para a água de poço, $4,33 \text{ mg L}^{-1}$ para a água de chuva e de $0,99 \text{ mg L}^{-1}$ para a água permeada, sendo semelhante aos resultados obtidos em Praia de Leste.

5.3 RESULTADOS DO DESEMPENHO DA MEMBRANA DE OR

5.3.1 Resultados do potencial de oxirredução (ORP)

As Figuras 5.29 e 5.30 apresentam a variação do ORP antes da membrana de OR, medido a cada minuto, durante todo o período de operação do sistema.

Figura 5.29 – Gráfico de variação do potencial de oxirredução (SDT = $1500 \pm 100 \text{ mg L}^{-1}$)



Figura 5.30 – Gráfico de variação do potencial de oxirredução (SDT = $1000 \pm 100 \text{ mg L}^{-1}$)



O potencial de oxirredução variou entre 116,51 e 286,52 mV, com média de 209,50 mV na Figura 5.29 e variou entre 153,77 e 219,52 mV, com média de 187,87 mV, na Figura 5.30.

Apenas valores acima de 350 mV indicam a presença de cloro livre na água em concentração suficiente para comprometer a vida útil da membrana, portanto, os valores de ORP apresentados nas Figuras 5.29 e 5.30, não apresentaram risco para a vida útil da membrana.

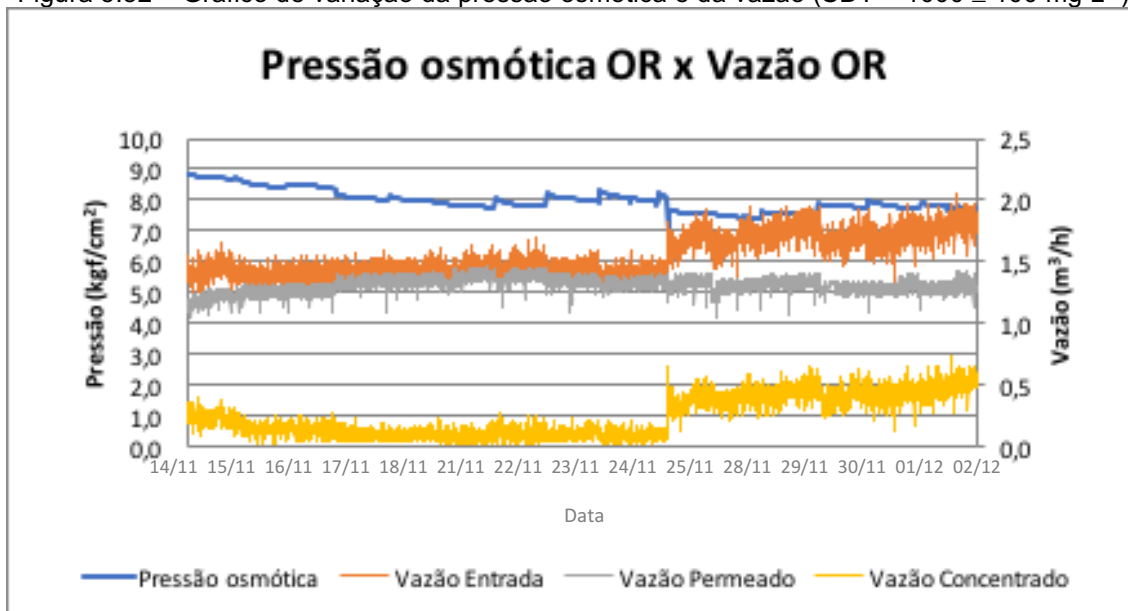
5.3.2 Pressão osmótica na membrana de OR

As Figuras 5.31 e 5.32 apresentam os gráficos da pressão osmótica na membrana de OR, relacionada com as vazões de entrada, de permeado e de concentrado na OR, com intervalos de registro de dados a cada minuto de operação do sistema.

Figura 5.31 – Gráfico de variação da pressão osmótica e da vazão (SDT = $1500 \pm 100 \text{ mg L}^{-1}$)



Figura 5.32 – Gráfico de variação da pressão osmótica e da vazão (SDT = $1000 \pm 100 \text{ mg L}^{-1}$)



Observa-se no gráfico da Figura 5.31 que quando se teve uma queda na pressão osmótica, também se teve uma redução nas vazões. O oposto também pôde ser observado e esse era o comportamento esperado (PERMUTION, 2016).

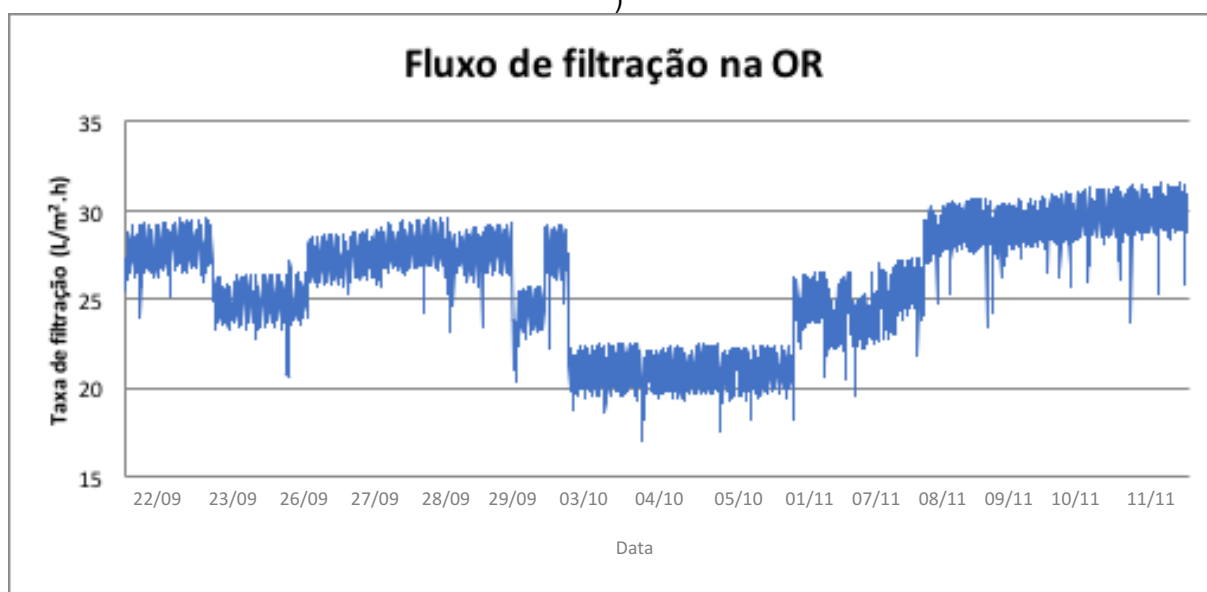
Na Figura 5.32, esperava-se que quando se tivesse uma queda na pressão osmótica, as vazões também tivessem alguma queda, como ocorreu na Figura 5.31, porém isso não foi observado no gráfico entre os dias 25/11 e 02/12.

A alteração no gráfico a partir de 25/11 foi influenciada pela maior abertura no registro do concentrado da OR. Essa abertura foi realizada para que o sistema passasse a operar com uma taxa de recuperação próxima à especificada para o equipamento.

5.3.3 Fluxo de filtração na membrana de OR

As Figuras 5.33 e 5.34 apresentam os gráficos da variação do fluxo de filtração, medida no intervalo de um minuto de operação.

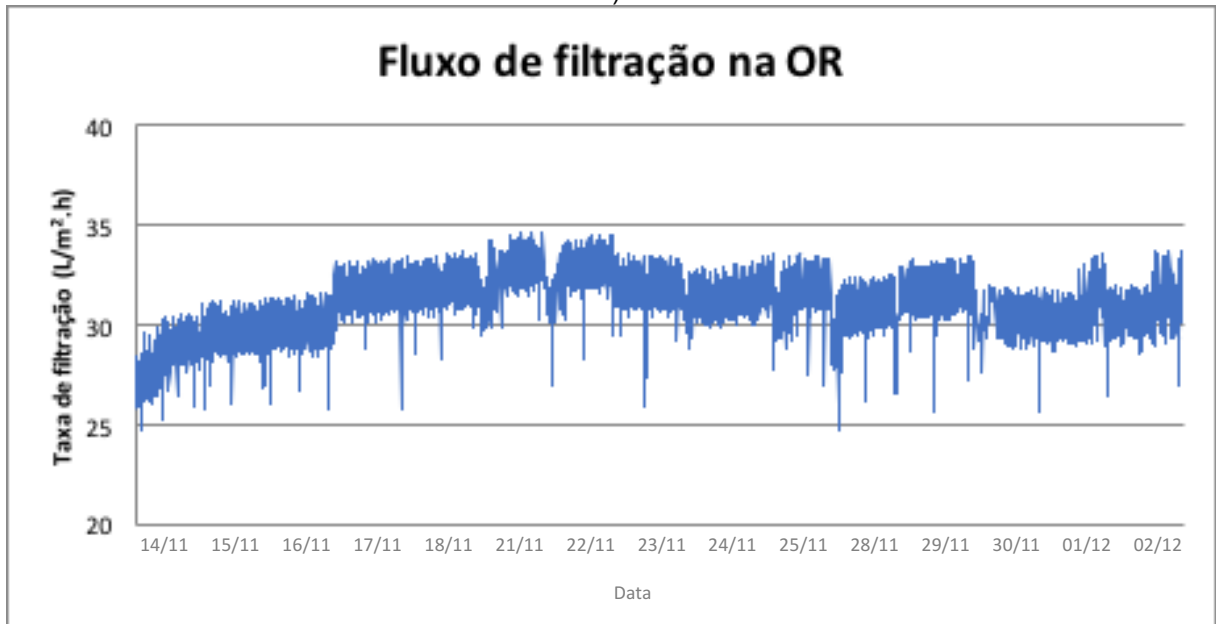
Figura 5.33 – Gráfico de variação do fluxo de filtração na membrana de OR (SDT = $1500 \pm 100 \text{ mg L}^{-1}$)



A maior parte dos valores de fluxo de filtração da membrana esteve entre 20 e 30 L/m².h, sendo o valor mínimo de 17,04 L/m².h, em 04/10 e o máximo 31,64 L/m².h, em 11/11/2016, com média de 25,88 L/m².h, conforme a Figura 5.33. Na Figura 5.34, a maior parte dos valores esteve entre 25 e 35 L/m².h, sendo o valor mínimo de 24,67 L/m².h, em 14/11 e o máximo 34,67 L/m².h, em 21/11/2016, com média de 31,04 L/m².h. O fluxo de filtração é diretamente proporcional a temperatura e a pressão.

O fluxo de filtração obtido atingiu a vazão especificada pelo fabricante do equipamento, que era de $1,0 \text{ m}^3 \text{ h}$, para a produção de permeado.

Figura 5.34 – Gráfico de variação do fluxo de filtração na membrana de OR (SDT = $1000 \pm 100 \text{ mg L}^{-1}$)



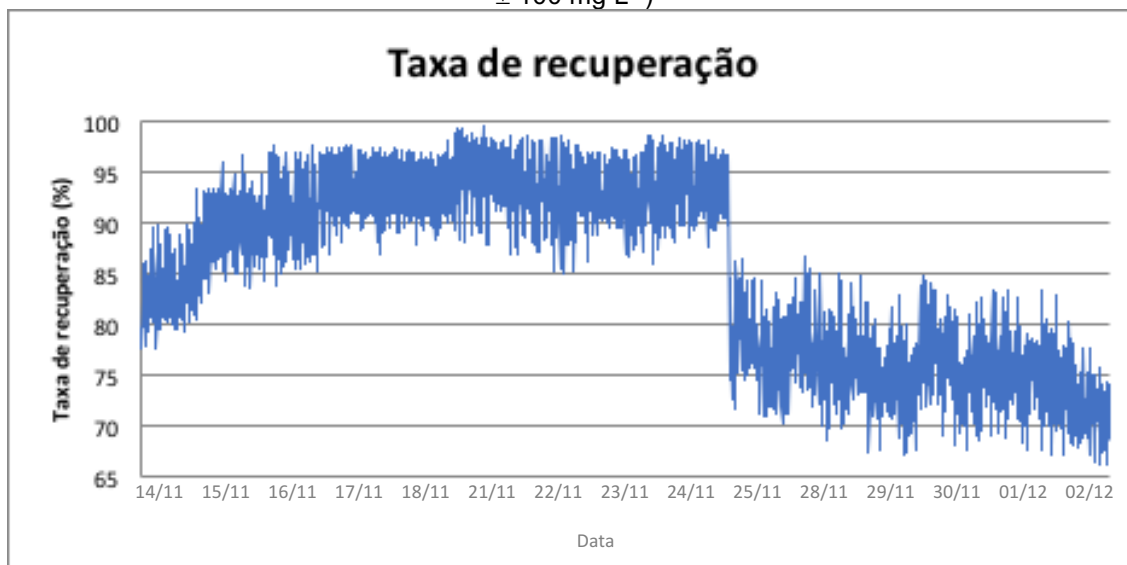
5.3.4 Taxa de recuperação de água na membrana de OR

As Figuras 5.35 e 5.36 apresentam os gráficos da variação da taxa de recuperação de água na membrana de OR, medida no intervalo de um minuto de operação.

Figura 5.35 – Gráfico de variação da taxa de recuperação de água na membrana de OR (SDT = $1500 \pm 100 \text{ mg L}^{-1}$)



Figura 5.36 – Gráfico de variação da taxa de recuperação de água na membrana de OR (SDT = 1000 $\pm$ 100 mg L⁻¹)



Conforme a Figura 5.35, se observa que a maior parte dos valores da taxa de recuperação variou entre 56,48 e 99,94%, com média de 74,64%. Na Figura 5.36 se observa que a maior parte dos valores da taxa de recuperação variou entre 66,15 e 99,64%, com média de 85,50%.

No dia 25/11, na Figura 5.36, foi aumentada a abertura do registro do rejeito para que se trabalhasse com taxa de recuperação de água mais próxima à taxa de projeto (75%) e isso foi refletido nos resultados apresentados na Figura 5.36.

Principalmente os valores próximos a 100% de taxa de recuperação, sugerem que houve algum erro de configuração do equipamento, visto que não são esperados valores como estes para equipamentos com a configuração disponível.

O equipamento foi fabricado, conforme manual do fornecedor, para ter taxa média de recuperação de 75%.

5.4 COMPARAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO NAS ETAPAS 1 E 2

O Quadro 5.1 mostra o comparativo da eficiência de remoção para os parâmetros amostrados, comparando-se a eficiência de remoção para as duas concentrações de SDT estudadas.

A eficiência de remoção de SDT variou entre 99,0 e 99,1% para as duas concentrações estudadas. Para a condutividade elétrica, que possui relação direta com o SDT, sua remoção em OR3 variou entre 98,9 e 99,0%.

A remoção da turbidez ocorreu principalmente na membrana de UF e parte na membrana de OR. A remoção na membrana de UF variou entre 96,4 e 97,8%. Houve também remoção de turbidez na OR e sua eficiência, comparada a UF2, variou entre 27,2 e 33,3%.

A eficiência de remoção de cor aparente em UF2 variou entre 96,2 e 98,0% e na membrana de OR, em relação à UF2, variou entre 69,0 e 79,2%, enquanto que a eficiência de remoção de alcalinidade, ao final do tratamento, variou entre 84,1 e 88,8%. Para a dureza total a eficiência de remoção da dureza total variou entre 99,2 e 100%.

Quadro 5.1 – Comparativo da eficiência de remoção para as duas concentrações de SDT

Parâmetro	Comparativo	Concentração na AS	
		1500 mg L ⁻¹	1000 mg L ⁻¹
		Eficiência de remoção (%)	Eficiência de remoção (%)
SDT	AS - OR3	99,1	99,0
Condutividade elétrica	AS - OR3	99,0	98,9
Turbidez	AS - UF2	96,4	97,8
	UF2 - OR3	27,2	33,3
Cor aparente	AS - UF2	98,0	96,2
	UF2 - OR3	69,0	79,2
Alcalinidade	Sistema	88,8	84,1
Dureza total	Sistema	100,0	99,2
Cálcio	Sistema	100,0	100,0
Magnésio	Sistema	100,0	99,0
Cloretos	Sistema	99,5	99,7
Sulfatos	Sistema	99,1	98,4

A eficiência do sistema piloto para remoção de cálcio para as duas diferentes concentrações foi de 100% e para magnésio, variou entre 99,0% e 100%.

A eficiência de remoção de cloretos variou entre 99,5% e 99,7% nas duas etapas, enquanto que para os sulfatos, a eficiência de remoção com SDT de variou entre 98,4% e 99,1%.

CONCLUSÕES

Com as duas etapas de trabalho e os resultados obtidos no experimento, conclui-se que:

- i. O sistema de dessalinização apresentou eficiência de remoção para os parâmetros analisados, sendo SDT, condutividade elétrica, turbidez, cor aparente, dureza total, alcalinidade, cálcio, magnésio, sulfatos e cloretos;
- ii. O sistema de UF removeu sólidos em suspensão, trabalhando como pré tratamento e permitindo que a água chegasse em condição adequada para o tratamento por OR;
- iii. O sistema de OR removeu sólidos em suspensão não retidos na UF, além de coloides e sólidos dissolvidos;
- iv. Tanto a taxa de filtração como a taxa de recuperação na membrana de OR foram maiores quando a concentração de SDT na água salobra foi menor, sendo inversamente proporcionais;
- v. Os valores de taxa de recuperação próximos a 100% sugerem que houve erro de calibração na operação do equipamento. O sistema de OR foi construído para apresentar taxa de recuperação média de 75%;
- vi. Os valores para a taxa de recuperação da membrana de OR foram influenciadas por ajustes no equipamento como aberturas ou fechamentos de registros;
- vii. O potencial de oxirredução foi medido em linha durante todo o período de tratamento e não registrou a presença de cloro livre na água em nenhuma das etapas do estudo;
- viii. Não se pôde avaliar a pressão osmótica, taxa de filtração e taxa de recuperação na membrana de UF, pois o sistema não possuía manômetro, rotâmetros ou hidrômetros para registro de informações da UF. Por outro lado, todos esses itens puderam ser avaliados no sistema de OR;
- ix. O sistema piloto de dessalinização, como todo sistema de tratamento, produz resíduo, o concentrado. O uso e tratamento do concentrado está sendo considerado em outros estudos.

Com o estudo se observou que o sistema piloto de dessalinização apresentou eficiência no tratamento de água salobra e essa tecnologia pode ser considerada para

futuras ampliações da ETA Praia de Leste ou para construção de novas ETA no litoral do Paraná.

RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Durante o período de ensaios experimentais na estação piloto, em Praia de Leste, se observou alguns fatores que podem ser melhorados ou implementados no sistema, para que se passasse a ter um maior controle sobre o funcionamento total do sistema.

Devido à limitação de tempo de um trabalho de mestrado, vários destes fatores, não puderam ser implementados e avaliados, porém são questões que podem vir a ser considerados em trabalhos futuros.

Sugere-se que o sistema piloto, para trabalhos futuros, passe a ter mais pontos de controle de vazão para que se possa conhecer com precisão o consumo e perda de água em cada etapa do tratamento e assim gerar o balanço de massa do sistema. Além do hidrômetro existente na saída (início do tratamento) do tanque de AS, se instalaria: rotâmetros ou hidrômetros na tubulação entre a UF (após o tanque de permeado da UF) e a OR (antes do filtro de disco), para medição do permeado da UF; outro para medição do rejeito da UF; outro para medição do concentrado da OR e outro equipamento para medição do permeado da OR.

A instalação de um manômetro na UF seria interessante para controle da pressão na membrana e para que se possa melhor avaliar seu comportamento, permitindo assim avaliação sobre seu desempenho.

A fim de aumentar o volume diário de água tratada no sistema piloto, recomenda-se aumentar a vazão de água que chega até o reservatório de água do rio, com a instalação de uma bomba hidráulica de maior capacidade que a existente na ETA (maior que ½ CV). Também se poderia instalar uma coluna de remineralização de água após o tanque de permeado da OR, para tornar a água em condições de potabilidade, já que a OR remove todos os sais da água.

Buscando reduzir a pegada ambiental e buscando a sustentabilidade sugere-se a instalação de um sistema de energia renovável.

Alguns ensaios não puderam ser realizados neste estudo, como por exemplo o SDI, SST, Na, K, SO₄, Fe, Al, Mn e exames biológicos por limitações de laboratório e pela indisponibilidade de equipamentos de análises.

Não foram avaliados alcalinidade, dureza, sulfato, cloreto, cálcio e magnésio no ponto de coleta OR2. Em próximos estudos caso se avaliem esses parâmetros,

será possível verificar a eficiência do sistema de abrandamento utilizado e também melhor avaliar o comportamento do ponto OR3 em relação à OR2.

Análises de scaling, fouling e bio-fouling também poderiam ser estudados para se obter a otimização das retrolavagens do sistema, minimizando assim o consumo de energia, e aumentando a taxa de recuperação do sistema e a vida útil das membranas.

Por fim, seria interessante realizar estudo de viabilidade econômica, considerando custo operacional, de aquisição, amortização e de instalação, tanto do sistema de tratamento de água, como do funcionamento do sistema energia renovável, comparando os custos de produção de água tratada do sistema piloto ao sistema convencional de tratamento já em operação em Praia de Leste.

REFERÊNCIAS

- ÁGUAS PARANÁ. Disponível em: <http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/mp13.pdf>. Acesso em: 10 set. 2015.
- American Membrane Technology Association (AMTA). **Application of Membrane Technologies**. Fev. 2007a.
- American Membrane Technology Association (AMTA). **Disposal of Desalting By-Product**. Fev. 2007b.
- American Membrane Technology Association (AMTA). **Membrane Desalination Costs**. Fev. 2007c.
- American Membrane Technology Association (AMTA). **Membrane Desalination Power Usage Put in Perspective**. Abr. 2009.
- American Membrane Technology Association (AMTA). **Membrane Filtration (MF/UF)**. Fev. 2007d.
- American Membrane Technology Association (AMTA). **Nanofiltration and Reverse Osmosis (NF/RO)**. Fev. 2007e.
- American Membrane Technology Association (AMTA). **Public Safety and Security**. Fev. 2007f.
- American Membrane Technology Association (AMTA). **Water Desalination Processes**. Fev. 2007g.
- AMERICAN Public Health Association. Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater. 22 ed. Washington: APHA, 2012.
- APHA; AWWA; WPCF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20 ed. Washington. 1998.
- ARRAS, W.; GHAF FOUR, N.; HAMOU, A. Performance evaluation of BWRO desalination plant – A case study. **Desalination**. N. 235, p. 170-178, 2009.
- BATTALHA, B. L. **Controle da qualidade de água para consumo humano**: bases conceituais e operacionais. São Paulo: CETESB, 1997. 198 p.
- BEM PARANA. Disponível em: <http://www.bemparana.com.br/noticia/104739/pontal-do-parana-sofre-com-a-sazonalidade>. Acesso em: 27 ago. 2015.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 2914 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. Disponível em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html. Acesso em: 22 jul. 2015.

CHINU, K.; JOHIR, A.H.; VIGNESWARAN, S.; SHON, H. K.; KANDASAMY, J. Assessment of pretreatment to microfiltration for desalination in terms of fouling index and molecular weight distribution. **Desalination**. N. 250, p. 644-647, 2010.

CLIMATEMPO. Disponível em: <http://www.climatempo.com.br/climatologia/3426/pontaldoparana-pr>. Acesso em: 29 ago. 2015.

CORREIO ATLÂNTICO. Disponível em: <http://www.correioatlantico.com/site/2013/03/pontal-do-parana-recebe-ambulancia-do-governo-do-estado/>. Acesso em: 27 ago. 2015.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. B.; VOLTAN, P. E. N. **Tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água**. São Carlos: LDiBe, 2011. 454 p.

DI BERNARDO, L.; SABOGAL PAZ, L. P. **Seleção de tecnologias de tratamento de água**. v. 1. São Carlos: LDiBe, 2008a. 878 p.

DI BERNARDO, L.; SABOGAL PAZ, L. P. **Seleção de tecnologias de tratamento de água**. v. 2. São Carlos: LDiBe, 2008b. 682 p.

DOWNING, D.; CLARK, J. **Estatística aplicada**. São Paulo: Saraiva, 2000. 455 p.

ELASAAD, H. BILTON, A. KELLEY, L. DUAYHE, O. DUBOWSKY, S. Field evaluation of a community scale solar powered water purification technology: A case study of a remote Mexican community application. **Desalination**. N. 375, p. 71-80, 2015.

EMBRAPA. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/1493335/programa-agua-doce-inicia-nova-etapa->. Acesso em: 25 ago. 2015.

ERIKSSON, P.; KYBURZ, M.; PERGANDE, W. NF membrane characteristics and evaluation for sea water processing applications. **Desalination**. N. 184, p. 281-294, 2005.

FAHMY, F. H.; AHMED, N. M.; FARGHALLY, H. M. Optimization of Renewable Energy Power System for Small Scale Brackish Reverse Osmosis Desalination Unit and a Tourism Motel in Egypt. **Smart Grid and Renewable Energy**, v. 03, n. 01, p. 43–50, 2012.

FRITZMANN, C.; LÖWENBERG, J.; WINTGENS, T.; MELIN, T. State-of-the-art of reverse osmosis desalination. **Desalination**. N. 216, p. 1-76, 2007.

GHAFFOUR, N.; MISSIMER, T. M.; AMY, G. L. Technical review and evaluation of the economics of water desalination: Current and future challenges for better water supply sustainability. **Desalination**. N. 309, p. 197-207, 2013.

GHAFFOUR, N. The challenge of capacity-building strategies and perspectives for desalination for sustainable water use in MENA. **Desalination and Water Treatment**. N. 5, p. 48-53, 2009.

GOOSEN, M.; MAHMOUDI, H.; GHAFPOUR, N.; SABLANI, S. S. Application of Renewable Energies for Water Desalination. **Desalination, Trends and Technologies**, p. 89–118, 2010. Disponível em: <http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/13755.pdf>. Acesso em: 03 mai. 2015.

GREENLEE, L. F. et al. Reverse Osmosis Desalination: Water sources, technology, and today's challenges. **Water Research**, ed. 43, p. 2317–2348, 2009.

HASSAN, A. M.; FAROOQUE, A. M.; JAMALUDDIN, A. T. M.; AL-AMOUDI, A. S.; AK.AL-SOFI, M.; AL-RUBAIAN, A. F.; KITHER, N. M.; AL-TISAN, I. A. R.; ROWAILI, A. A demonstration plant based on the new NF-SWRO process. In: CONFERENCE ON MEMBRANES IN DRINKING AND INDUSTRIAL WATER PRODUCTION. Paris. 2000.

H₂LIFE BRASIL. **Manual de instruções sistema piloto de ultrafiltração 1 m³/h**. 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/painel/populacao.php?lang=&codmun=411995&search=%7Cpontal-do-parana>. Acesso em: 27 ago. 2015.

KAZMIER, L. J. **Estatística aplicada à economia e administração**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1982. 376 p.

KHAWAJI, A. D.; KUTUBKHANAH, I. K.; WIE, J. Advances in seawater desalination technologies. **Desalination**. N. 211, p. 47-69, 2008.

KRÜGER, R. Desalination pre-treatment: Efficient ultrafiltration for seawater. **Filtration & separation**. N. 46, p. 14-16, 2009.

LATTEMANN, S.; HÖPNER, T. Environmental impact and impact assessment of seawater desalination. **Desalination**. N. 220, p. 1-15, 2008.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. Campinas: Átomo, 2005. 444 p.

MEZOMO, A. M. **A qualidade das águas como subsídio para gestão ambiental**. Porto Alegre: EMATER/RS-ASCAR, 2010. 220 p.

MORRILLO, J.; USERO, J.; ROSADO, D.; BAKOURI, H.; RIAZA, A.; BERNAOLA, F. J. Comparative study of brine management technologies for desalination plants. **Desalination**. N. 336, p. 32-49, 2014.

MICKLEY, M.C. **Membrane Concentrate Disposal: Practices and Regulation**. U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Mickley & Associates. 2001.

NATIONAL GROUNDWATER ASSOCIATION. Disponível em: http://www.ngwa.org/media-center/briefs/documents/brackish_water_info_brief_2010.pdf. Acesso em: 11 mar. 2016.

PERMUTION. **Manual técnico de operação e manutenção da unidade de**

tratamento avançado por osmose reversa – Modelo ROH 010054 – 1,0 m³/h. 2016.

PLANETA SUSTENTÁVEL. Disponível em: <http://planetasustentavel.abril.com.br/noticia/ambiente/dessalinizacao-da-agua-853242.shtml>. Acesso em: 25 ago. 2015.

PANKRATZ, T. Desalination Technology Trends. Disponível em: <http://texaswater.tamu.edu/readings/desal/desaltechrends.pdf>. Acesso em: 11 mar. 2016.

PORTAL DOS CONVÊNIOS. Disponível em: <http://api.convenios.gov.br/siconv/dados/proposta/1791747.html>. Acesso em: 27 ago. 2015.

REVISTA TAE. Disponível em: <http://www.revistatae.com.br/noticialnt.asp?id=5080>. Acesso em 07 mar. 2016.

RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETTO, J. M. **Tratamento de água:** tecnologia atualizada. São Paulo: Edgard Blücher, 2002. 332 p.

SHATAT, M.; RIFFAT, S. B. Water desalination technologies utilizing conventional and renewable energy sources. **International Journal of Low-Carbon Technologies.** 2012.

UNITED NATIONS (UN). Disponível em: http://www.un.org/esa/sustdev/natlinfo/indicators/methodology_sheets/oceans_seas_coasts/pop_coastal_areas.pdf. Acesso em: 20 fev. 2016

VICKERS, J. C. Introduction. In: AWWA. **Microfiltration and Ultrafiltration Membranes for Drinking Water.** Ed. 1. American Water Works Association. p. 1-7. 2005.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 2. ed. rev. Belo Horizonte: DESA/UFGM, 1996. 243 p.

VOUTCHKOV, N. Considerations for selection of seawater filtration pretreatment system. **Desalination.** N. 261, p. 354-354, 2010.

VYAS, H.; SUTHAR, K.; CHAUHAN, M.; JANI, R.; BAPAT, P.; PATEL, P.; MARKAM, B.; MAITI, S. Modus operandi for maximizing energy efficiency and increasing permeate flux of community scale solar powered reverse osmosis systems. **Energy Conversion and Management.** N. 103, p. 94–103, 2015.

WATER RESEARCH FOUNDATION. **Guidelines for Implementing Seawater and Brackish Water Desalination Facilities.** 2010. Disponível em: <http://www.waterrf.org/PublicReportLibrary/4078.pdf>. Acesso em: 11 mar. 2016.

WORLD BANK. **Renewable Energy Desalination:** An Emerging Solution to Close the Water Gap in the Middle East and North Africa. Washington, 2012.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Desalination for safe water supply:** Guidance for the Health and Environmental Aspects Applicable to Desalination. Geneva, 2007.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Guidelines for Drinking-water Quality. WHO Library Cataloguing-in-Publication Data, 4th ed. 2011a.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Safe Drinking-water from Desalination.** Who Press, 2011b. Disponível em: http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2011/desalination_guidance/en/. Acesso em: 19 jul. 2015.

SAEED, M. Effect of dechlorination point location and residual chlorine on biofouling in a seawater reverse osmosis plant. **Desalination**. N. 143, p. 229-235, 2002.

STEININGER, J. M. PPM or ORP: Which should be used? **Swimming Pool Age & Spa Merchandiser**. 1985.

STEVENSON, W. J. **Estatística aplicada à administração**. São Paulo: Harbra, 2001. 495 p.

SZÉLIGA, M. R. **Layout da instalação do sistema piloto de dessalinização**. 2016.

SUN, C.; XIE, L.; LI, X. SUN, L. DAI, H. Study on different ultrafiltration-based hybrid pretreatment systems for reverse osmosis desalination. **Desalination**. N. 371, p. 18-25, 2015.

SUSLOW, T. V. Oxidation-reduction potential (ORP) for water disinfection monitoring control. **University of California: Division of Agriculture and Natural Resources**. N. 8149. 2004.

APÊNDICE A – RESULTADOS DAS DETERMINAÇÕES ESTATÍSTICA DA ETAPA
1

QUADRO A.1 – Dados estatísticos de concentração de SDT e condutividade elétrica

CONCENTRAÇÃO DE SDT (mg L⁻¹)					
	RIO	MAR	AS	UF1	UF2
Média (mg L⁻¹)	39,08	47.367,33	1.491,02	1.509,84	1.509,16
Desvio padrão (σ)	12,51	335,55	47,67	46,50	48,15
Variância (σ^2)	156,60	112.592,38	2.272,02	2.162,13	2.318,00
Coef. Variação (%)	32,02	0,71	3,20	3,08	3,19
Mínimo (mg L⁻¹)	24,14	46.720,00	1.423,00	1.446,00	1.422,00
Mediana (mg L⁻¹)	36,90	47.340,00	1.478,00	1.500,00	1.501,00
Máximo (mg L⁻¹)	62,17	47.980,00	1.591,00	1.610,00	1.608,00
	OR1	OR2	OR3	OR4	CONC
Média (mg L⁻¹)	1.512,22	1.533,16	12,84	12,92	5.192,53
Desvio padrão (σ)	46,48	47,47	3,27	3,30	1.394,73
Variância (σ^2)	2.160,22	2.253,04	10,71	10,91	1.945.272,70
Coef. Variação (%)	3,07	3,10	25,48	25,57	26,86
Mínimo (mg L⁻¹)	1.448,00	1.472,00	9,13	9,32	3.916,00
Mediana (mg L⁻¹)	1.500,00	1.520,00	11,63	11,61	5.108,00
Máximo (mg L⁻¹)	1.624,00	1.640,00	18,93	18,51	9.479,00
CONDUTIVIDADE ELÉTRICA ($\mu\text{S cm}^{-1}$)					
	RIO	MAR	AS	UF1	UF2
Média ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	61,67	44.738,00	2.066,80	2.091,07	2.090,49
Desvio padrão (σ)	19,59	224,51	65,91	64,20	66,24
Variância (σ^2)	156,60	50.402,86	4.343,57	4.122,20	4.387,89
Coef. Variação (%)	32,02	0,50	3,19	3,07	3,17
Mínimo ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	38,45	44.170,00	1.980,00	2.002,00	1.976,00
Mediana ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	58,04	44.750,00	2.045,00	2.081,00	2.086,00
Máximo ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	97,85	45.030,00	2.203,00	2.228,00	2.224,00
	OR1	OR2	OR3	OR4	CONC
Média ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	2.094,62	2.121,49	20,61	20,71	6.530,60
Desvio padrão (σ)	63,86	64,68	5,31	5,35	1.567,35
Variância (σ^2)	4.077,79	4.182,94	28,24	28,62	2.456.586,97
Coef. Variação (%)	3,05	3,05	25,78	25,83	24,00
Mínimo ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	2.005,00	2.037,00	14,57	14,85	2.002,00
Mediana ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	2.075,00	2.105,00	18,63	18,60	6.426,00
Máximo ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	2.245,00	2.267,00	30,20	29,75	11.250,00

QUADRO A.2 – Dados estatísticos de turbidez

TURBIDEZ (uT)					
	RIO	MAR	AS	UF1	UF2
Média (uT)	6,93	0,29	6,20	7,89	0,22
Desvio padrão (σ)	2,91	0,12	2,16	2,90	0,15
Variância (σ^2)	8,45	0,01	4,67	8,41	0,02
Coef. Variação (%)	41,93	42,33	34,86	36,74	68,96
Mínimo (uT)	4,31	0,17	3,88	2,68	0,09
Mediana (uT)	5,89	0,23	5,75	6,86	0,16
Máximo (uT)	13,70	0,54	12,00	14,40	0,77
	OR1	OR2	OR3	OR4	CONC
Média (uT)	0,28	0,18	0,16	0,15	0,36
Desvio padrão (σ)	0,26	0,09	0,09	0,08	0,26
Variância (σ^2)	0,07	0,01	0,01	0,01	0,07
Coef. Variação (%)	90,84	51,90	55,64	49,78	73,34
Mínimo (uT)	0,11	0,09	0,08	0,08	0,17
Mediana (uT)	0,20	0,15	0,13	0,13	0,27
Máximo (uT)	1,66	0,57	0,55	0,45	1,12

QUADRO A.3 – Dados estatísticos de cor aparente

COR APARENTE						
	RIO	MAR	AS	UF2	OR3	CONC
Média (uC)	21,77	0,42	20,83	0,42	0,13	1,45
Desvio padrão (σ)	14,74	0,51	14,80	0,50	0,24	0,70
Variância (σ^2)	217,22	0,26	219,08	0,25	0,06	0,48
Coef. Variação (%)	67,70	119,42	71,06	119,98	182,02	48,09
Mínimo (uC)	7,40	0,00	6,90	0,00	0,00	0,50
Mediana (uC)	14,10	0,20	9,90	0,15	0,00	1,40
Máximo (uC)	47,60	1,20	47,80	1,40	0,90	2,80

QUADRO A.4 – Dados estatísticos de pH

pH				
	AS	UF2	OR3	CONC
Média (pH)	7,37	6,65	6,29	7,29
Desvio padrão (σ)	0,46	0,50	0,45	0,54
Variância (σ^2)	0,21	0,25	0,20	0,29
Coef. Variação (%)	6,22	7,58	7,12	7,42
Mínimo (pH)	6,66	5,62	5,74	6,42
Mediana (pH)	7,38	6,55	6,09	7,24
Máximo (pH)	8,30	7,80	7,30	8,20

QUADRO A.5 – Dados estatísticos de alcalinidade, dureza total, cloretos e sulfatos

ALCALINIDADE (mg L⁻¹)				
	AS	UF2	OR3	CONC
Média (mg L⁻¹)	13,28	6,44	1,49	13,09
Desvio padrão (σ)	3,43	3,82	0,39	6,93
Variância (σ²)	11,76	14,62	0,15	48,08
Coef. Variação (%)	25,81	59,41	26,14	52,96
Mínimo (mg L⁻¹)	8,46	1,38	0,62	4,05
Mediana (mg L⁻¹)	12,78	5,61	1,54	11,45
Máximo (mg L⁻¹)	19,57	14,30	2,54	24,43
DUREZA TOTAL (mg L⁻¹)				
	AS	UF2	OR3	CONC
Média (mg L⁻¹)	172,18	171,66	0,00	112,00
Desvio padrão (σ)	38,37	40,19	0,00	76,00
Variância (σ²)	1.471,88	1.615,00	0,00	5.775,95
Coef. Variação (%)	22,28	23,41	0,00	67,86
Mínimo (mg L⁻¹)	101,14	104,55	0,00	29,76
Mediana (mg L⁻¹)	163,10	157,14	0,00	120,46
Máximo (mg L⁻¹)	235,71	238,64	0,00	294,74
CLORETOS (mg L⁻¹)				
	AS	UF2	OR3	CONC
Média (mg L⁻¹)	584,15	590,18	2,67	1.825,83
Desvio padrão (σ)	20,52	23,83	4,92	247,10
Variância (σ²)	421,05	567,83	24,23	61.059,39
Coef. Variação (%)	3,51	4,04	184,48	13,53
Mínimo (mg L⁻¹)	513,05	488,14	0,00	1.474,38
Mediana (mg L⁻¹)	587,76	590,29	0,00	1.751,84
Máximo (mg L⁻¹)	614,10	642,66	24,91	2.271,34
SULFATOS (mg L⁻¹)				
	AS	UF2	OR3	CONC
Média (mg L⁻¹)	115,38	74,26	0,80	226,48
Desvio padrão (σ)	16,73	7,13	1,71	57,83
Variância (σ²)	279,92	50,81	2,93	3.343,79
Coef. Variação (%)	14,50	9,60	214,62	25,53
Mínimo (mg L⁻¹)	95,10	62,90	0,00	151,40
Mediana (mg L⁻¹)	110,80	73,90	0,00	208,50
Máximo (mg L⁻¹)	156,30	90,40	7,20	341,60

QUADRO A.6 – Dados estatísticos de cálcio e magnésio

CÁLCIO (mg L⁻¹)				
	AS	UF2	OR3	CONC
Média (mg L⁻¹)	46,09	45,78	0,00	29,70
Desvio padrão (σ)	6,11	5,12	0,00	48,97
Variância (σ²)	37,35	26,24	0,00	2.398,34
Coef. Variação (%)	13,26	11,19	0,00	164,88
Mínimo (mg L⁻¹)	32,26	32,26	0,00	0,00
Mediana (mg L⁻¹)	45,46	45,46	0,00	12,50
Máximo (mg L⁻¹)	64,77	53,41	0,00	195,46
MAGNÉSIO (mg L⁻¹)				
	AS	UF2	OR3	CONC
Média (mg L⁻¹)	126,09	125,88	0,00	86,76
Desvio padrão (σ)	40,65	41,06	0,00	68,65
Variância (σ²)	1.652,19	1.686,05	0,00	4.713,11
Coef. Variação (%)	32,24	32,62	0,00	79,13
Mínimo (mg L⁻¹)	50,00	59,09	0,00	0,00
Mediana (mg L⁻¹)	123,32	112,50	0,00	76,19
Máximo (mg L⁻¹)	189,12	195,45	0,00	239,06

APÊNDICE B – RESULTADOS DAS DETERMINAÇÕES ESTATÍSTICA DA ETAPA
2

QUADRO B.1 – Dados estatísticos de concentração de SDT e condutividade elétrica

CONCENTRAÇÃO DE SDT (mg L⁻¹)					
	RIO	MAR	AS	UF1	UF2
Média (mg L⁻¹)	30,16	47.566,00	1.048,81	1.060,72	1.059,89
Desvio padrão (σ)	5,30	241,89	43,83	41,80	44,05
Variância (σ^2)	28,14	58.511,43	1.921,31	1.747,21	1.940,21
Coef. Variação (%)	17,59	0,51	4,18	3,94	4,16
Mínimo (mg L⁻¹)	23,58	47.190,00	915,30	920,90	923,60
Mediana (mg L⁻¹)	28,41	47.550,00	1.060,00	1.069,00	1.074,00
Máximo (mg L⁻¹)	39,91	47.970,00	1.090,00	1.105,00	1.110,00
	OR1	OR2	OR3	OR4	CONC
Média (mg L⁻¹)	1.061,52	1.060,73	9,97	9,96	3.917,20
Desvio padrão (σ)	41,73	40,45	1,01	1,01	329,61
Variância (σ^2)	1.741,77	1.636,37	1,02	1,02	108.644,46
Coef. Variação (%)	3,93	3,81	10,13	10,15	8,41
Mínimo (mg L⁻¹)	927,80	929,80	8,20	8,20	3.450,00
Mediana (mg L⁻¹)	1.073,00	1.070,00	9,89	9,89	4.021,00
Máximo (mg L⁻¹)	1.116,00	1.120,00	12,06	12,18	4.557,00
CONDUTIVIDADE ELÉTRICA ($\mu\text{S cm}^{-1}$)					
	RIO	MAR	AS	UF1	UF2
Média ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	47,70	45.046,67	1.495,36	1.511,22	1.509,80
Desvio padrão (σ)	8,33	130,31	57,49	55,13	57,80
Variância (σ^2)	69,42	16.980,95	3.304,60	3.038,86	3.340,98
Coef. Variação (%)	17,47	0,29	3,84	3,65	3,83
Mínimo ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	37,47	44.870,00	1.317,00	1.325,00	1.330,00
Mediana ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	44,95	45.040,00	1.513,00	1.525,00	1.529,00
Média ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	63,06	45.310,00	1.551,00	1.564,00	1.580,00
	OR1	OR2	OR3	OR4	CONC
Média ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	1.512,33	1.511,53	16,04	16,01	5.070,93
Desvio padrão (σ)	54,37	52,45	1,65	1,65	390,82
Variância (σ^2)	2.956,00	2.750,53	2,71	2,71	152.737,21
Coef. Variação (%)	3,60	3,47	10,27	10,29	7,71
Mínimo ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	1.337,00	1.340,00	13,19	13,19	4.507,00
Mediana ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	1.527,00	1.523,00	15,99	15,95	5.203,00
Média ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	1.579,00	1.585,00	19,48	19,64	5.808,00

QUADRO B.2 – Dados estatísticos de turbidez

TURBIDEZ (uT)					
	RIO	MAR	AS	UF1	UF2
Média (uT)	6,96	0,28	6,87	9,62	0,15
Desvio padrão (σ)	2,87	0,09	2,45	3,19	0,07
Variância (σ^2)	8,26	0,01	6,00	10,16	0,00
Coef. Variação (%)	41,28	32,07	35,66	33,14	44,92
Mínimo (uT)	6,96	0,18	4,37	4,37	0,10
Mediana (uT)	6,07	0,26	5,48	9,17	0,13
Máximo (uT)	14,50	0,46	11,30	16,00	0,45
	OR1	OR2	OR3	OR4	CONC
Média (uT)	0,18	0,12	0,10	0,11	0,16
Desvio padrão (σ)	0,05	0,02	0,02	0,03	0,03
Variância (σ^2)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Coef. Variação (%)	30,04	17,35	16,71	31,07	17,76
Mínimo (uT)	0,11	0,09	0,08	0,07	0,12
Mediana (uT)	0,17	0,12	0,10	0,10	0,16
Máximo (uT)	0,41	0,17	0,14	0,28	0,22

QUADRO B.3 – Dados estatísticos de cor aparente

COR APARENTE (uC)						
	RIO	MAR	AS	UF2	OR3	CONC
Média (uC)	20,93	0,39	21,31	0,77	0,16	2,20
Desvio padrão (σ)	9,00	0,24	9,62	1,62	0,25	1,37
Variância (σ^2)	81,02	0,06	92,61	2,64	0,06	1,87
Coef. Variação (%)	43,00	62,49	45,16	211,21	156,19	62,23
Mínimo (uC)	9,40	0,10	8,70	0,00	0,00	0,00
Mediana (uC)	20,80	0,30	21,10	0,30	0,00	2,00
Máximo (uC)	33,00	0,80	37,30	10,70	1,10	5,10

QUADRO B.4 – Dados estatísticos de pH

pH				
	AS	UF2	OR3	CONC
Média (pH)	6,84	6,37	6,11	6,70
Desvio padrão (σ)	0,10	0,23	0,16	0,08
Variância (σ^2)	0,01	0,05	0,03	0,01
Coef. Variação (%)	1,47	3,61	2,63	1,26
Mínimo (pH)	6,54	5,66	5,80	6,56
Mediana (pH)	6,86	6,38	6,11	6,68
Máximo (pH)	7,03	6,86	6,45	6,84

QUADRO B.5 – Dados estatísticos de alcalinidade, dureza total, cloretos e sulfatos

ALCALINIDADE (mg L⁻¹)				
	AS	UF2	OR3	CONC
Média (mg L⁻¹)	7,94	3,13	1,26	6,24
Desvio padrão (σ)	0,83	0,80	0,29	1,00
Variância (σ^2)	0,70	0,64	0,08	1,00
Coef. Variação (%)	10,51	25,48	23,07	16,01
Mínimo (mg L⁻¹)	6,33	0,96	0,55	4,46
Mediana (mg L⁻¹)	7,81	3,28	1,31	6,21
Máximo (mg L⁻¹)	9,73	4,57	1,71	7,89
DUREZA TOTAL (mg L⁻¹)				
	AS	UF2	OR3	CONC
Média (mg L⁻¹)	143,81	148,06	1,17	447,36
Desvio padrão (σ)	8,18	12,12	3,10	126,38
Variância (σ^2)	66,98	146,92	9,59	15.971,51
Coef. Variação (%)	5,69	8,19	265,10	28,25
Mínimo (mg L⁻¹)	120,00	114,74	0,00	112,90
Mediana (mg L⁻¹)	144,09	147,31	0,00	480,65
Máximo (mg L⁻¹)	162,37	177,90	11,34	575,27
CLORETOS (mg L⁻¹)				
	AS	UF2	OR3	CONC
Média (mg L⁻¹)	411,29	417,22	1,04	1.480,21
Desvio padrão (σ)	17,85	19,07	1,98	124,33
Variância (σ^2)	318,60	363,56	3,90	15.458,61
Coef. Variação (%)	4,34	4,57	189,20	8,40
Mínimo (mg L⁻¹)	370,78	370,78	0,00	1.293,24
Mediana (mg L⁻¹)	410,40	417,71	0,00	1.488,90
Máximo (mg L⁻¹)	464,65	477,21	4,77	1.689,62
SULFATOS (mg L⁻¹)				
	AS	UF2	OR3	CONC
Média (mg L⁻¹)	84,11	64,80	1,31	224,76
Desvio padrão (σ)	5,95	5,18	1,58	22,62
Variância (σ^2)	35,38	26,84	2,49	511,79
Coef. Variação (%)	7,07	8,00	120,53	10,07
Mínimo (mg L⁻¹)	75,15	47,20	0,00	184,38
Mediana (mg L⁻¹)	82,14	66,07	1,09	221,06
Máximo (mg L⁻¹)	102,10	73,90	6,82	269,00

QUADRO B.6 – Dados estatísticos de cálcio e magnésio

CÁLCIO (mg L⁻¹)				
	AS	UF2	OR3	CONC
Média (mg L⁻¹)	28,20	28,97	0,00	42,75
Desvio padrão (σ)	2,87	3,50	0,00	12,56
Variância (σ^2)	8,26	12,24	0,00	157,75
Coef. Variação (%)	10,19	12,08	0,00	29,38
Mínimo (mg L⁻¹)	21,51	21,65	0,00	24,73
Mediana (mg L⁻¹)	27,96	30,11	0,00	40,86
Máximo (mg L⁻¹)	34,41	37,63	0,00	63,64
MAGNÉSIO (mg L⁻¹)				
	AS	UF2	OR3	CONC
Média (mg L⁻¹)	115,61	119,09	1,17	357,62
Desvio padrão (σ)	6,98	12,40	3,10	186,06
Variância (σ^2)	48,77	153,76	9,59	34.617,07
Coef. Variação (%)	6,04	10,41	265,10	52,03
Mínimo (mg L⁻¹)	94,19	90,01	0,00	0,00
Mediana (mg L⁻¹)	115,18	119,34	0,00	430,13
Máximo (mg L⁻¹)	127,96	151,01	11,34	527,96

APÊNDICE C – RESULTADOS DAS ANÁLISE DE QUALIDADE DA ÁGUA DA
ETAPA 1

Tabela C.1 – Resultados dos ensaios de SDT (mg L⁻¹)

Ponto de coleta	Data														
	22/09	23/09	26/09	27/09	28/09	29/09	03/10	04/10	05/10	01/11	07/11	08/11	09/11	10/11	11/11
RIO A	32,14	31,08	51,02	58,36	62,17	51,72	44,7	42,87	36,90	42,27	29,54	29,76	24,93	24,14	24,56
MAR A	47350	46720	47400	47630	47140	47340	47820	47810	47980	47190	47470	47090	47340	47040	47190
AS A	1469	1509	1440	1478	1457	1535	1431	1489	1447	1460	1516	1588	1535	1568	1496
AS B	1472	1462	1443	1470	1445	1529	1432	1487	1443	1453	1510	1587	1538	1562	1490
AS C	1477	1462	1446	1475	1423	1538	1432	1487	1441	1460	1515	1591	1538	1577	1493
UF1 A	1470	1469	1450	1493	1479	1550	1465	1508	1466	1482	1517	1605	1550	1580	1503
UF1 B	1482	1507	1470	1498	1460	1542	1468	1512	1447	1477	1539	1608	1550	1589	1513
UF1 C	1487	1528	1459	1489	1471	1549	1471	1509	1446	1481	1543	1610	1557	1594	1500
UF2 A	1422	1501	1464	1497	1471	1545	1457	1512	1467	1480	1513	1596	1548	1587	1509
UF2 B	1486	1521	1456	1493	1459	1544	1455	1518	1446	1494	1538	1608	1553	1590	1510
UF2 C	1487	1532	1460	1488	1465	1549	1455	1513	1444	1481	1541	1607	1558	1591	1501
OR1 A	1462	1497	1476	1470	1488	1508	1494	1478	1502	1461	1500	1624	1560	1589	1530
OR1 B	1484	1524	1462	1492	1466	1539	1465	1508	1459	1479	1533	1608	1553	1594	1513
OR1 C	1495	1525	1486	1496	1464	1546	1459	1512	1448	1479	1543	1607	1562	1596	1514
OR2 A	1482	1523	1507	1499	1503	1527	1519	1500	1524	1479	1518	1624	1591	1612	1540
OR2 B	1510	1554	1490	1516	1479	1563	1488	1529	1481	1495	1553	1636	1584	1612	1520
OR2 C	1520	1557	1486	1514	1473	1569	1477	1535	1472	1501	1569	1640	1592	1608	1521
OR3 A	10,75	12,57	9,85	10,14	10,78	10,25	9,86	10,80	10,95	11,70	11,26	16,53	17,35	18,22	17,50
OR3 B	11,13	13,20	9,77	10,50	10,36	9,57	10,65	11,77	9,94	11,88	11,64	17,06	17,66	18,47	17,10
OR3 C	11,63	18,93	9,80	10,71	10,23	9,66	10,88	11,82	9,13	11,80	12,56	18,08	17,58	18,53	17,41
OR4 A	10,56	13,40	10,08	9,80	10,70	10,24	9,91	11,04	11,09	11,87	11,30	16,21	17,45	18,06	17,54
OR4 B	10,84	17,77	9,82	10,20	10,27	9,61	10,69	11,66	10,00	11,90	11,62	17,10	17,69	18,51	17,12
OR4 C	11,61	17,42	9,67	10,69	9,82	9,68	11,01	11,87	9,32	11,90	12,80	18,07	17,57	18,49	17,42
CONC C	4323	4164	3916	4054	3993	9479	5746	5108	4217	5314	4680	5759	5716	5778	5641

Tabela C.2 – Resultados dos ensaios de condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$)

Ponto de coleta		Data														
		22/09	23/09	26/09	27/09	28/09	29/09	03/10	04/10	05/10	01/11	07/11	08/11	09/11	10/11	11/11
RIO	A	50,68	49,02	80,35	91,97	97,85	81,56	70,29	67,45	58,04	66,79	46,73	47,2	39,55	38,45	39,05
MAR	A	44620	44170	44530	44800	44530	44650	44710	44720	44750	44830	45000	44840	45030	44870	45020
AS	A	2037	2089	1994	2045	2021	2121	1980	2057	1999	2031	2103	2199	2130	2175	2082
AS	B	2041	2031	1997	2037	2008	2114	1981	2054	1996	2022	2096	2197	2134	2168	2075
AS	C	2041	2030	2002	2045	1980	2129	1980	2056	1997	2031	2103	2203	2128	2187	2080
UF1	A	2036	2031	2004	2065	2051	2141	2025	2081	2023	2060	2105	2221	2150	2188	2091
UF1	B	2054	2090	2033	2073	2027	2130	2029	2087	2002	2054	2133	2225	2149	2200	2104
UF1	C	2062	2116	2019	2062	2042	2142	2032	2083	2003	2059	2139	2228	2153	2208	2088
UF2	A	1976	2081	2023	2070	2039	2135	2014	2086	2025	2058	2099	2210	2149	2198	2098
UF2	B	2059	2107	2014	2068	2029	2134	2012	2095	2000	2076	2132	2224	2154	2201	2100
UF2	C	2061	2121	2020	2062	2033	2142	2012	2089	2000	2059	2136	2223	2154	2206	2088
OR1	A	2027	2075	2041	2037	2061	2087	2063	2043	2071	2033	2081	2245	2163	2201	2126
OR1	B	2057	2109	2023	2067	2036	2127	2026	2081	2018	2054	2125	2224	2157	2208	2104
OR1	C	2072	2112	2055	2072	2033	2136	2018	2088	2005	2057	2141	2225	2158	2210	2106
OR2	A	2055	2108	2080	2073	2081	2112	2095	2071	2100	2057	2105	2245	2202	2231	2139
OR2	B	2090	2147	2059	2097	2052	2157	2055	2110	2045	2079	2152	2261	2194	2231	2113
OR2	C	2104	2152	2055	2094	2044	2165	2042	2117	2037	2085	2172	2267	2197	2225	2115
OR3	A	17,20	20,17	15,85	16,18	17,26	16,40	15,70	17,20	17,43	18,87	18,10	26,64	27,90	29,27	28,80
OR3	B	17,81	21,23	15,57	16,78	16,61	15,32	16,97	18,77	15,84	19,16	18,75	27,46	28,40	29,66	27,59
OR3	C	18,63	30,20	15,62	17,11	16,40	15,47	17,33	18,86	14,57	19,16	20,25	29,06	28,13	29,78	28,07
OR4	A	16,89	21,53	16,04	15,65	17,12	16,38	15,77	17,57	17,63	19,15	18,15	26,13	28,04	29,03	28,24
OR4	B	17,35	28,41	15,63	16,31	16,47	15,38	17,03	18,60	15,94	19,18	18,71	27,53	28,45	29,75	27,61
OR4	C	18,60	27,87	15,40	17,08	15,75	15,50	17,53	18,94	14,85	19,18	20,63	29,04	28,11	29,71	28,08
CONC	C	5525	5344	5035	5213	5154	11250	7150	6426	5391	6728	5965	7241	7150	7274	7113

Tabela C.3 – Resultados dos ensaios de turbidez (uT)

Ponto de coleta		Data														
		22/09	23/09	26/09	27/09	28/09	29/09	03/10	04/10	05/10	01/11	07/11	08/11	09/11	10/11	11/11
RIO	A	5,77	5,89	4,45	4,31	4,80	4,88	4,68	5,16	5,91	7,17	8,92	6,64	9,39	12,30	13,70
MAR	A	0,21	0,54	0,20	0,17	0,18	0,33	0,40	0,17	0,21	0,43	0,48	0,21	0,28	0,25	0,23
AS	A	5,71	6,12	5,04	4,31	4,05	4,41	4,12	4,53	4,53	8,76	7,35	6,42	6,84	7,94	11,70
AS	B	5,96	6,24	5,69	4,27	3,88	4,39	4,19	4,62	4,21	8,67	7,23	6,51	6,87	7,93	11,70
AS	C	5,96	5,78	5,21	4,39	4,10	4,27	5,03	4,91	4,36	9,44	7,96	6,61	7,92	8,64	12,00
UF1	A	5,76	7,14	5,95	5,88	4,74	6,05	2,68	5,67	5,74	11,70	7,21	9,38	9,74	9,68	13,50
UF1	B	7,35	7,94	6,80	5,86	5,16	6,08	4,07	5,95	4,79	11,40	10,29	9,06	9,50	10,20	14,40
UF1	C	6,86	7,06	6,81	6,20	5,58	6,02	4,64	6,28	5,22	13,30	13,10	10,00	10,80	10,60	13,00
UF2	A	0,17	0,60	0,14	0,10	0,15	0,16	0,15	0,14	0,12	0,43	0,33	0,77	0,09	0,21	0,21
UF2	B	0,23	0,58	0,41	0,11	0,16	0,19	0,10	0,11	0,14	0,13	0,16	0,41	0,18	0,12	0,14
UF2	C	0,14	0,45	0,18	0,14	0,13	0,12	0,19	0,16	0,11	0,21	0,29	0,12	0,18	0,26	0,13
OR1	A	0,67	1,66	0,16	0,30	0,26	0,34	0,37	0,20	0,22	0,29	0,85	0,17	0,17	0,25	0,19
OR1	B	0,31	0,62	0,30	0,13	0,16	0,20	0,15	0,20	0,43	0,17	0,29	0,23	0,16	0,22	0,14
OR1	C	0,21	0,26	0,12	0,15	0,13	0,18	0,14	0,11	0,20	0,12	0,38	0,19	0,30	0,28	0,15
OR2	A	0,21	0,57	0,16	0,14	0,12	0,18	0,14	0,20	0,13	0,29	0,21	0,17	0,22	0,12	0,12
OR2	B	0,25	0,37	0,33	0,11	0,11	0,15	0,11	0,18	0,18	0,11	0,19	0,15	0,10	0,10	0,12
OR2	C	0,13	0,41	0,12	0,17	0,10	0,14	0,09	0,16	0,19	0,12	0,23	0,15	0,30	0,15	0,13
OR3	A	0,14	0,55	0,09	0,12	0,11	0,13	0,10	0,16	0,15	0,13	0,25	0,14	0,10	0,21	0,13
OR3	B	0,17	0,42	0,17	0,12	0,13	0,11	0,11	0,18	0,09	0,14	0,21	0,22	0,10	0,10	0,14
OR3	C	0,19	0,35	0,12	0,14	0,09	0,11	0,10	0,12	0,08	0,14	0,22	0,12	0,16	0,13	0,14
OR4	A	0,12	0,45	0,09	0,12	0,08	0,12	0,18	0,16	0,12	0,21	0,29	0,17	0,11	0,14	0,17
OR4	B	0,25	0,36	0,11	0,14	0,14	0,10	0,12	0,12	0,21	0,09	0,15	0,13	0,09	0,10	0,12
OR4	C	0,23	0,32	0,13	0,16	0,08	0,10	0,09	0,14	0,09	0,12	0,14	0,11	0,20	0,12	0,15
CONC	C	0,77	0,51	0,23	0,17	0,28	1,12	0,32	0,23	0,19	0,27	0,20	0,21	0,40	0,30	0,18

Tabela C.4 – Resultados dos ensaios de cor aparente (uC)

Ponto de coleta		Data														
		22/09	23/09	26/09	27/09	28/09	29/09	03/10	04/10	05/10	01/11	07/11	08/11	09/11	10/11	11/11
RIO	A	*	*	8,30	8,60	9,50	9,10	14,10	8,50	7,40	47,60	37,30	37,30	27,60	30,40	37,30
MAR	A	*	*	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,20	0,30	1,20	1,10	1,20	1,00	0,00	0,40
AS	A	*	8,30	10,00	9,10	8,40	9,80	9,70	8,40	7,20	36,90	46,70	41,20	36,40	30,60	34,30
AS	B	9,60	8,40	9,00	9,20	8,50	10,40	9,80	8,60	6,90	41,10	47,80	41,80	35,10	30,10	29,80
AS	C	9,10	8,80	9,50	9,10	8,70	10,00	12,60	8,90	7,70	35,30	46,60	44,20	36,90	31,10	34,90
UF2	A	*	0,20	0,00	0,00	0,00	1,40	0,30	0,00	0,00	1,00	1,00	1,20	1,10	0,10	0,00
UF2	B	0,10	0,00	0,00	0,00	0,20	0,40	0,00	0,00	1,00	0,90	1,30	1,10	1,10	0,00	0,00
UF2	C	0,10	0,00	0,00	0,00	0,20	0,30	0,00	0,00	1,00	0,90	1,20	1,10	1,00	0,00	0,20
OR3	A	*	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,70	0,30	0,60	0,40	0,00	0,00
OR3	B	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	0,90	0,30	0,70	0,00	0,00
OR3	C	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,50	0,30	0,40	0,00	0,00
CONC	C	1,40	1,10	0,50	0,50	0,70	1,50	1,10	1,00	1,30	2,00	2,40	2,80	2,40	1,50	1,50

* Ensaio não realizado

Tabela C.5 – Resultados dos ensaios de pH

Ponto de coleta		Data														
		22/09	23/09	26/09	27/09	28/09	29/09	03/10	04/10	05/10	01/11	07/11	08/11	09/11	10/11	11/11
AS	A	6,77	6,70	7,00	7,40	7,38	7,28	8,00	8,00	8,10	7,56	7,38	7,32	7,34	6,76	6,72
AS	B	6,97	6,76	7,44	7,51	7,34	7,53	7,90	8,30	8,00	7,59	7,42	7,35	7,22	6,83	6,79
AS	C	6,66	6,84	7,34	7,43	7,28	7,61	8,00	8,20	8,20	7,58	7,43	7,47	7,20	6,8	6,86
UF2	A	5,62	6,32	6,21	6,69	6,66	7,01	7,40	7,30	7,30	6,78	6,75	6,42	6,69	6,13	6,41
UF2	B	6,03	6,08	6,37	6,44	6,96	6,94	7,30	7,10	7,80	7,05	6,42	6,51	6,73	5,98	6,36
UF2	C	6,17	6,10	6,55	6,53	6,87	7,14	7,30	7,20	7,80	6,95	6,21	6,48	6,42	5,92	6,06
OR3	A	7,22	6,52	5,91	6,12	6,01	5,91	7,30	6,90	6,80	6,32	6,02	5,99	5,94	5,86	6,10
OR3	B	7,22	6,52	5,91	6,12	6,01	5,91	7,30	6,90	6,80	6,32	6,02	5,99	5,94	5,86	6,10
OR3	C	6,57	6,37	5,95	6,01	6,07	5,98	7,00	7,00	7,00	6,40	6,14	6,02	5,93	5,86	5,86
CONC	C	6,79	6,42	7,31	7,22	7,40	7,24	8,20	8,10	8,20	7,30	7,39	7,23	7,11	6,70	6,69

Tabela C.6 – Resultados dos ensaios de alcalinidade (mg L⁻¹)

Ponto de coleta		Data														
		22/09	23/09	26/09	27/09	28/09	29/09	03/10	04/10	05/10	01/11	07/11	08/11	09/11	10/11	11/11
AS	A	10,22	10,78	11,55	15,78	17,43	18,77	18,66	14,03	14,04	16,49	12,36	11,20	9,58	9,30	8,73
AS	B	10,09	11,55	11,39	15,84	17,19	18,57	17,16	15,67	13,39	16,22	12,78	10,62	10,24	9,23	8,97
AS	C	10,39	10,93	11,77	15,84	18,10	18,64	19,57	14,96	13,33	17,07	12,85	9,89	9,37	8,81	8,46
UF2	A	2,86	7,62	4,29	9,24	9,22	14,30	12,65	8,01	7,27	7,93	10,38	3,75	2,83	2,52	3,26
UF2	B	5,04	3,51	4,46	6,75	11,90	13,01	6,90	6,22	13,53	10,22	4,29	3,28	3,25	1,94	1,87
UF2	C	4,32	3,10	4,67	6,53	11,26	13,12	6,76	5,61	12,79	8,35	2,92	2,43	2,51	1,65	1,38
OR3	A	1,66	1,54	1,65	1,40	1,76	1,67	1,68	2,11	1,86	1,06	1,33	1,33	1,40	1,04	0,97
OR3	B	1,84	1,98	1,51	1,75	1,83	1,80	1,92	1,66	1,83	1,38	0,88	1,28	1,22	0,98	0,96
OR3	C	2,54	2,08	1,27	1,81	1,82	1,60	1,60	1,49	1,54	1,32	0,95	1,02	1,31	1,03	0,62
CONC	C	4,05	4,72	13,27	8,12	20,66	20,69	20,43	19,26	18,39	11,45	24,43	10,87	7,95	6,19	5,92

Tabela C.7 – Resultados dos ensaios de dureza total (mg L⁻¹)

Ponto de coleta		Data														
		22/09	23/09	26/09	27/09	28/09	29/09	03/10	04/10	05/10	01/11	07/11	08/11	09/11	10/11	11/11
AS	A	144,0	161,9	153,6	139,3	114,3	160,7	101,1	201,1	127,3	221,6	235,7	213,7	206,3	209,5	194,7
AS	B	171,4	150,0	140,5	138,1	160,7	138,1	113,6	201,1	127,3	218,2	227,4	211,6	205,3	204,2	192,6
AS	C	151,2	157,1	163,1	132,1	127,4	161,9	109,1	204,5	119,3	231,0	206,3	212,6	191,6	203,2	192,6
UF2	A	157,1	165,5	134,5	134,5	136,9	138,1	158,0	137,5	104,5	226,1	215,9	225,0	218,2	204,2	191,6
UF2	B	127,4	182,1	150,0	147,6	140,5	131,0	143,2	150,0	137,5	217,0	225,0	227,3	219,3	207,4	195,8
UF2	C	129,8	146,4	107,1	131,0	134,5	223,8	144,3	126,1	138,6	217,0	217,0	238,6	220,5	207,4	193,7
OR3	A	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
OR3	B	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
OR3	C	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CONC	C	33,3	31,0	29,8	76,2	151,2	128,6	128,4	120,5	58,0	294,7	150,5	65,3	36,8	168,4	207,4

Tabela C.8 – Resultados dos ensaios de cálcio (mg L⁻¹)

Ponto de coleta		Data														
		22/09	23/09	26/09	27/09	28/09	29/09	03/10	04/10	05/10	01/11	07/11	08/11	09/11	10/11	11/11
AS	A	39,8	43,2	40,9	48,9	58,0	50,0	51,1	45,5	47,7	52,3	46,6	43,2	43,2	39,8	46,2
AS	B	40,9	43,2	40,9	47,7	51,1	56,8	48,9	47,7	44,3	52,3	45,5	45,5	39,8	40,9	36,6
AS	C	40,9	40,9	39,8	54,5	64,8	54,5	48,9	51,1	45,5	48,9	44,3	45,5	44,3	39,8	32,3
UF2	A	39,8	40,9	39,8	50,0	53,4	52,3	45,5	45,5	45,5	50,0	45,5	44,3	42,0	43,0	32,3
UF2	B	40,9	40,9	39,8	47,7	52,3	51,1	48,9	48,9	48,9	52,3	48,9	42,0	40,9	43,0	48,4
UF2	C	39,8	43,2	40,9	53,4	52,3	53,4	47,7	48,9	48,9	52,3	48,9	43,2	43,2	43,0	36,6
OR3	A	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
OR3	B	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
OR3	C	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CONC	C	6,8	3,4	0,0	0,0	6,8	195,5	51,1	33,0	12,5	55,7	25,0	11,4	5,7	17,2	21,5

Tabela C.9 – Resultados dos ensaios de magnésio (mg L⁻¹)

Ponto de coleta		Data														
		22/09	23/09	26/09	27/09	28/09	29/09	03/10	04/10	05/10	01/11	07/11	08/11	09/11	10/11	11/11
AS	A	104,3	118,7	112,7	90,4	56,3	110,7	50,0	155,7	79,5	169,3	189,1	170,5	163,1	169,7	148,5
AS	B	130,5	106,8	99,6	90,4	109,6	81,3	64,8	153,4	83,0	165,9	181,9	166,1	165,5	163,4	156,1
AS	C	110,3	116,2	123,3	77,6	62,6	107,4	60,2	153,4	73,9	182,1	162,0	167,2	147,3	163,4	160,4
UF2	A	117,4	124,6	94,8	84,5	83,5	85,8	112,5	92,0	59,1	176,1	170,5	180,7	176,1	161,2	159,3
UF2	B	86,5	141,2	110,2	99,9	88,2	79,8	94,3	101,1	88,6	164,8	176,1	185,2	178,4	164,4	147,4
UF2	C	90,0	103,2	66,2	77,5	82,3	170,4	96,6	77,3	89,8	164,8	168,2	195,5	177,3	164,4	157,1
OR3	A	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
OR3	B	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
OR3	C	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CONC	C	26,5	27,5	29,8	76,2	144,4	0,0	77,3	87,5	45,5	239,1	125,5	53,9	31,2	151,2	185,9

Tabela C.10 – Resultados dos ensaios de cloretos (mg L⁻¹)

Ponto de coleta		Data														
		22/09	23/09	26/09	27/09	28/09	29/09	03/10	04/10	05/10	01/11	07/11	08/11	09/11	10/11	11/11
AS	A	590,3	590,3	587,8	587,8	587,8	602,7	552,9	572,8	587,8	580,8	580,8	609,3	590,3	605,4	582,0
AS	B	585,5	604,6	587,8	577,8	577,8	607,7	557,9	572,8	557,9	552,2	580,8	614,1	590,3	610,1	572,6
AS	C	590,3	604,6	572,8	582,8	572,8	612,7	552,9	577,8	513,0	547,4	595,1	609,3	604,6	600,8	591,4
UF2	A	590,3	590,3	582,8	592,7	587,8	592,7	577,8	597,7	587,8	552,2	566,5	614,1	595,1	610,1	577,3
UF2	B	595,1	614,1	587,8	597,7	597,7	622,6	567,8	602,7	572,8	552,2	580,8	580,8	595,1	610,1	586,7
UF2	C	580,8	604,6	582,8	587,8	587,8	627,6	592,7	602,7	488,1	566,5	590,3	642,7	599,8	614,8	610,1
OR3	A	4,8	4,8	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,1	4,7
OR3	B	9,5	4,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,8	0,0	4,7	0,0
OR3	C	14,3	0,0	0,0	0,0	24,9	0,0	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	4,8	4,8	4,7	4,7
CONC	C	1685,2	1661,4	1554,1	1569,0	1574,0	1742,3	2271,3	2007,4	1474,4	1751,8	2070,8	1821,0	2046,3	2093,2	2065,1

Tabela C.11 – Resultados dos ensaios de sulfatos (mg L⁻¹)

Ponto de coleta		Data														
		22/09	23/09	26/09	27/09	28/09	29/09	03/10	04/10	05/10	01/11	07/11	08/11	09/11	10/11	11/11
AS	A	99,3	99,3	149,0	154,6	110,7	129,5	103,7	104,5	95,1	113,1	119,4	124,9	113,9	123,3	102,9
AS	B	99,3	99,8	147,6	120,1	114,5	118,2	99,0	103,7	95,9	109,2	126,4	131,2	109,2	106,8	114,7
AS	C	98,7	101,0	151,8	116,4	131,3	127,6	100,6	103,7	102,1	99,0	156,3	131,9	113,9	108,4	110,8
UF2	A	77,7	81,7	75,0	71,3	79,5	80,3	72,3	71,5	64,5	64,5	78,6	73,9	66,0	72,3	70,0
UF2	B	78,3	77,2	72,0	69,8	79,5	82,5	67,6	69,2	81,7	62,9	62,9	90,4	85,7	77,0	72,3
UF2	C	80,6	77,7	83,3	72,8	74,3	80,3	63,7	67,6	74,7	73,9	66,0	63,7	87,2	83,3	64,5
OR3	A	2,8	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,6	4,3
OR3	B	2,3	0,3	0,3	0,3	0,0	0,0	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,2
OR3	C	0,0	0,1	0,1	2,1	0,0	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,4	6,8
CONC	C	208,5	218,4	219,4	183,8	223,1	193,2	151,4	165,1	208,3	188,6	206,3	251,4	298,5	341,6	339,6

Tabela C.12 – Resultados dos ensaios de temperatura (°C)

Ponto de coleta	Data														
	22/09	23/09	26/09	27/09	28/09	29/09	03/10	04/10	05/10	01/11	07/11	08/11	09/11	10/11	11/11
RIO A	21,5	22,2	21,2	21,8	22,2	22,4	20,2	20,3	19,4	25,3	26,0	28,2	25,4	26,9	27
MAR A	22,5	23,2	21,4	22,2	23,2	23,2	20,2	20,4	19,5	26,0	25,5	26,7	26,5	27,3	27,5
AS A	23,1	23,2	21,4	22,3	23,2	23,1	20,4	20,8	19,9	26,3	25,8	27,3	27,1	27,1	27,6
AS B	23,3	24,8	21,2	23,4	24,4	23,7	20,8	21,1	20,9	26,4	26,0	27,2	26,7	27,6	28,3
AS C	23,8	24,3	21,4	23,4	24,7	24,5	20,7	21,6	21,9	26,7	26,0	26,9	24,2	27,9	28,4
UF1 A	22,9	23,3	21,0	22,5	23,6	23,1	20,6	20,9	20,0	26,2	25,9	27,1	27,1	27,3	27,6
UF1 B	23,4	24,4	21,1	23,1	24,4	23,5	20,8	21,3	20,9	26,2	26,0	27,1	26,7	27,3	28
UF1 C	23,6	24,3	21,4	23,2	24,2	24,2	20,7	21,7	21,8	26,4	26,1	27,2	24,3	27,8	28,2
UF2 A	23,1	23,3	21,4	22,4	23,5	23,1	20,6	20,8	20,0	26,2	25,8	27,2	27,2	27,4	27,7
UF2 B	23,2	24,4	21,1	23,2	24,3	23,6	20,8	21,3	20,9	26,2	25,9	27,1	26,8	27,5	28,2
UF2 C	23,7	24,2	21,5	23,2	24,3	24,2	20,8	21,7	21,8	26,3	26,1	27,2	24,4	27,8	28,3
OR1 A	23,8	24,4	21,2	22,4	23,5	23,2	20,7	20,9	20,2	26,5	25,5	27,2	27,4	27,5	27,9
OR1 B	23,8	24,2	21,2	23,1	24,6	23,7	21,0	21,4	21,1	26,4	26,2	27,3	26,8	27,6	28,3
OR1 C	23,8	24,3	21,4	23,2	24,3	24,0	21,0	21,8	21,8	26,6	26,2	27,4	24,3	27,8	28,4
OR2 A	23,4	24,2	21,1	22,3	23,5	23,2	20,7	21,0	20,2	26,6	25,5	27,2	26,9	27,5	27,9
OR2 B	23,5	24,2	21,3	23,2	24,5	23,8	21,1	21,4	21,1	26,4	26,2	27,3	27	27,8	28,4
OR2 C	23,8	24,2	21,4	23,1	24,2	24,1	21,0	21,8	21,8	26,6	26,2	27,4	24,2	27,7	28,5
OR3 A	24,1	24,5	21,4	22,6	23,8	23,6	21,1	21,3	20,6	27,0	25,8	27,7	27,2	27,9	28,2
OR3 B	24,1	24,7	21,6	23,5	25,0	24,0	21,5	21,8	21,5	26,8	26,6	27,6	27,4	28,2	28,8
OR3 C	24,1	24,7	21,7	23,3	24,5	24,2	21,4	22,2	22,2	26,9	26,4	27,7	24,6	28,1	28,8
OR4 A	24,0	24,4	21,4	22,6	23,8	23,7	21,1	21,4	20,6	27,0	25,8	27,8	27,3	28,1	28,2
OR4 B	24,0	24,6	21,6	23,6	25,0	24,0	21,5	21,9	21,6	26,9	26,7	27,7	27,5	28,4	28,9
OR4 C	24,1	24,7	21,7	23,4	24,5	24,3	21,5	22,2	22,2	27,0	26,4	27,7	24,6	28,2	28,8
CONC C	22,9	23,6	21,1	23,1	24,3	23,3	20,5	21,3	21,7	26,9	25,4	27,1	23,3	28,0	27,4

Tabela C.13 – Quantidade de PAC utilizado na coagulação (mg L⁻¹)

	Data														
	22/09	23/09	26/09	27/09	28/09	29/09	03/10	04/10	05/10	01/11	07/11	08/11	09/11	10/11	11/11
PAC	37,46	31,92	28,11	27,62	28,79	20,41	37,36	34,85	0,00	26,23	34,52	23,62	23,62	20,65	22,34

APÊNDICE D – RESULTADOS DAS ANÁLISE DE QUALIDADE DA ÁGUA DA
ETAPA 2

Tabela D.1 – Resultados dos ensaios de SDT (mg L⁻¹)

Ponto de coleta	Data														
	14/11	15/11	16/11	17/11	18/11	21/11	22/11	23/11	24/11	25/11	28/11	29/11	30/11	01/12	02/12
RIO A	24,20	24,71	23,58	36,61	39,91	28,41	30,95	38,25	34,45	27,39	26,61	34,38	29,01	27,93	26,06
MAR A	47640	47410	47310	47190	47490	47280	47750	47860	47680	47540	47290	47910	47970	47620	47550
AS A	1086	919,8	1089	1036	994,5	1063	1045	1073	1082	1027	1058	1057	1070	1089	1072
AS B	1090	915,3	1084	1030	989,5	1059	1037	1069	1077	1026	1055	1059	1072	1086	1071
AS C	1090	918,1	1087	1033	993,1	1060	1034	1067	1078	1027	1052	1058	1066	1080	1072
UF1 A	1086	934,4	1092	1051	1022	1063	1046	1082	1091	1037	1066	1064	1078	1102	1081
UF1 B	1105	933,9	1099	1038	1022	1059	1046	1081	1092	1035	1069	1066	1078	1101	1081
UF1 C	1098	920,9	1093	1042	1069	1060	1044	1081	1091	1037	1068	1067	1080	1098	1082
UF2 A	1095	928,1	1094	1044	1006	1077	1045	1080	1093	1039	1074	1065	1080	1101	1083
UF2 B	1095	923,6	1097	1045	1004	1071	1044	1081	1090	1038	1067	1066	1079	1101	1081
UF2 C	1097	930,2	1110	1045	1010	1072	1044	1080	1091	1039	1066	1068	1079	1095	1082
OR1 A	1116	948,2	1060	1061	1017	1073	1056	1073	1091	1046	1069	1069	1080	1097	1088
OR1 B	1102	927,8	1089	1048	1010	1073	1046	1080	1090	1041	1068	1068	1080	1101	1083
OR1 C	1101	930,5	1097	1046	1010	1074	1045	1085	1091	1040	1068	1068	1079	1100	1083
OR2 A	1120	955,5	1055	1062	1017	1070	1053	1070	1091	1045	1067	1068	1075	1094	1087
OR2 B	1106	929,8	1087	1048	1008	1070	1045	1078	1088	1040	1066	1067	1078	1099	1081
OR2 C	1100	938,4	1097	1048	1010	1072	1044	1085	1091	1038	1066	1066	1078	1097	1082
OR3 A	9,65	8,20	10,29	10,78	10,01	11,90	11,21	10,24	10,48	9,10	9,74	9,71	8,95	8,86	8,91
OR3 B	9,43	8,44	10,71	10,60	10,03	12,01	11,15	11,45	10,85	9,17	10,05	9,63	8,86	9,20	8,94
OR3 C	9,05	8,81	10,62	10,70	10,30	12,06	10,96	11,19	11,09	9,21	9,89	9,38	8,78	9,27	8,91
OR4 A	9,64	8,20	10,36	10,77	10,13	12,18	11,14	10,33	10,50	9,24	9,89	9,61	8,58	8,87	8,94
OR4 B	9,48	8,47	10,64	10,57	10,05	12,12	11,08	10,75	10,86	9,21	10,09	9,62	8,73	9,21	8,94
OR4 C	9,06	8,94	10,64	10,71	10,32	11,94	10,93	11,15	11,12	9,15	9,88	9,36	8,70	9,25	8,88
CONC C	4557	4021	3980	4031	4047	4237	4144	4052	4193	3901	3648	3542	3458	3497	3450

Tabela D.2 – Resultados dos ensaios de condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$)

Ponto de coleta		Data														
		14/11	15/11	16/11	17/11	18/11	21/11	22/11	23/11	24/11	25/11	28/11	29/11	30/11	01/12	02/12
RIO	A	38,32	39,18	37,47	57,91	63,06	44,95	48,92	60,37	54,39	43,29	42,17	54,32	45,78	44,18	41,20
MAR	A	44880	44870	44930	44920	45040	44960	45140	45060	45080	45010	45220	45310	45100	44980	45200
AS	A	1540	1322	1550	1481	1428	1516	1492	1524	1537	1466	1508	1506	1516	1547	1522
AS	B	1544	1317	1544	1474	1422	1513	1481	1521	1532	1465	1505	1509	1520	1543	1521
AS	C	1546	1322	1551	1479	1424	1514	1478	1520	1537	1466	1509	1506	1513	1538	1522
UF1	A	1557	1341	1554	1499	1463	1516	1492	1536	1550	1477	1520	1514	1526	1563	1533
UF1	B	1564	1344	1563	1484	1463	1513	1493	1537	1552	1478	1523	1518	1528	1563	1534
UF1	C	1556	1325	1558	1492	1525	1514	1492	1538	1553	1479	1527	1519	1530	1563	1536
UF2	A	1551	1333	1556	1492	1441	1535	1490	1534	1551	1481	1530	1516	1529	1562	1535
UF2	B	1551	1330	1560	1493	1439	1529	1491	1537	1551	1481	1521	1518	1528	1562	1535
UF2	C	1554	1338	1580	1495	1446	1531	1492	1537	1553	1482	1524	1521	1529	1561	1536
OR1	A	1579	1362	1512	1515	1455	1530	1505	1524	1549	1491	1524	1522	1529	1555	1543
OR1	B	1561	1337	1552	1498	1446	1531	1494	1536	1551	1485	1523	1521	1531	1563	1538
OR1	C	1560	1339	1564	1498	1448	1533	1492	1544	1554	1483	1527	1521	1529	1564	1537
OR2	A	1585	1375	1505	1515	1455	1526	1500	1521	1547	1490	1521	1520	1523	1553	1542
OR2	B	1566	1340	1549	1499	1445	1528	1492	1533	1549	1484	1522	1520	1529	1561	1535
OR2	C	1560	1350	1564	1499	1447	1530	1491	1544	1553	1482	1524	1519	1528	1561	1537
OR3	A	15,48	13,19	16,55	17,36	16,10	19,20	18,01	16,43	16,81	14,63	15,67	15,60	14,32	14,22	14,28
OR3	B	15,11	13,58	17,23	17,08	16,16	19,38	17,94	18,40	17,44	14,75	16,19	15,46	14,20	14,79	14,35
OR3	C	14,50	14,18	17,11	17,26	16,58	19,48	17,64	18,00	17,84	14,80	15,99	15,08	14,06	14,92	14,27
OR4	A	15,44	13,19	16,66	17,35	16,30	19,64	17,89	16,56	16,85	14,84	15,91	15,43	13,73	14,23	14,31
OR4	B	15,19	13,63	17,12	17,03	16,18	19,56	17,82	17,25	17,44	14,80	16,25	15,47	13,98	14,79	14,34
OR4	C	14,52	14,38	17,14	17,27	16,61	19,27	17,58	17,94	17,88	14,69	15,95	15,05	13,93	14,88	14,24
CONC	C	5808	5203	5147	5222	5225	5461	5339	5225	5400	5047	4772	4622	4509	4577	4507

Tabela D.3 – Resultados dos ensaios de turbidez (uT)

Ponto de coleta	Data														
	14/11	15/11	16/11	17/11	18/11	21/11	22/11	23/11	24/11	25/11	28/11	29/11	30/11	01/12	02/12
RIO A	9,10	7,56	6,07	4,67	4,54	5,35	5,10	4,35	4,63	5,88	6,32	6,71	14,50	11,50	8,17
MAR A	0,18	0,27	0,20	0,26	0,22	0,30	0,18	0,21	0,22	0,25	0,37	0,44	0,46	0,34	0,36
AS A	10,60	9,70	7,63	6,31	4,97	4,38	4,77	5,18	4,66	4,75	4,67	5,48	7,68	11,30	10,90
AS B	10,50	9,21	7,32	6,01	4,85	4,37	4,87	5,03	4,60	4,55	4,47	5,42	7,81	10,70	10,60
AS C	11,10	9,35	7,40	6,49	5,10	4,72	5,39	5,44	4,70	4,91	5,17	5,80	8,06	11,10	11,10
UF1 A	12,00	13,90	10,90	11,10	9,69	4,38	7,26	8,04	7,06	6,23	6,14	7,11	9,17	15,30	13,20
UF1 B	14,70	11,70	10,80	6,97	9,99	4,37	7,67	7,53	7,70	6,18	6,01	7,14	10,10	14,40	12,80
UF1 C	12,80	12,00	9,40	16,00	11,00	4,72	7,57	8,01	7,50	6,86	8,24	8,30	11,60	14,80	14,50
UF2 A	0,14	0,17	0,26	0,35	0,15	0,18	0,15	0,13	0,15	0,11	0,18	0,15	0,11	0,12	0,12
UF2 B	0,24	0,15	0,17	0,13	0,10	0,13	0,12	0,12	0,12	0,13	0,10	0,10	0,11	0,12	0,12
UF2 C	0,12	0,13	0,45	0,18	0,10	0,11	0,12	0,14	0,13	0,13	0,10	0,12	0,10	0,12	0,10
OR1 A	0,24	0,41	0,19	0,22	0,20	0,28	0,20	0,22	0,18	0,14	0,30	0,15	0,17	0,16	0,17
OR1 B	0,20	0,19	0,17	0,21	0,16	0,17	0,17	0,20	0,13	0,12	0,17	0,15	0,14	0,16	0,15
OR1 C	0,17	0,25	0,20	0,16	0,21	0,25	0,14	0,19	0,13	0,17	0,11	0,16	0,11	0,13	0,12
OR2 A	0,17	0,14	0,13	0,13	0,11	0,14	0,16	0,15	0,15	0,12	0,12	0,11	0,15	0,13	0,15
OR2 B	0,11	0,12	0,16	0,12	0,10	0,10	0,11	0,10	0,11	0,10	0,11	0,11	0,12	0,11	0,14
OR2 C	0,12	0,15	0,11	0,10	0,13	0,09	0,12	0,10	0,10	0,16	0,10	0,11	0,09	0,13	0,10
OR3 A	0,14	0,11	0,10	0,11	0,09	0,09	0,13	0,10	0,10	0,10	0,10	0,08	0,13	0,14	0,11
OR3 B	0,13	0,09	0,08	0,09	0,09	0,08	0,09	0,13	0,09	0,09	0,09	0,08	0,12	0,10	0,10
OR3 C	0,09	0,09	0,08	0,09	0,11	0,08	0,12	0,09	0,10	0,11	0,08	0,10	0,09	0,11	0,10
OR4 A	0,28	0,14	0,11	0,09	0,09	0,08	0,15	0,10	0,10	0,12	0,12	0,09	0,12	0,10	0,13
OR4 B	0,13	0,09	0,12	0,09	0,09	0,09	0,10	0,17	0,09	0,09	0,10	0,07	0,11	0,10	0,10
OR4 C	0,12	0,10	0,09	0,08	0,09	0,08	0,14	0,10	0,15	0,12	0,10	0,08	0,08	0,12	0,10
CONC C	0,21	0,17	0,15	0,16	0,16	0,13	0,22	0,18	0,18	0,19	0,13	0,18	0,12	0,14	0,15

Tabela D.4 – Resultados dos ensaios de cor aparente (uC)

Ponto de coleta		Data														
		14/11	15/11	16/11	17/11	18/11	21/11	22/11	23/11	24/11	25/11	28/11	29/11	30/11	01/12	02/12
RIO	A	33,0	31,9	31,8	14,2	14,7	25,4	20,8	10,3	9,4	13,3	15,7	9,4	31,2	29,2	23,7
MAR	A	0,2	0,2	0,3	0,7	0,6	0,7	0,7	0,8	0,2	0,2	0,3	0,2	0,1	0,4	0,2
AS	A	35,7	34,2	35,0	32,7	21,5	16,9	21,7	20,0	9,8	10,5	9,8	10,0	13,1	9,6	25,9
AS	B	33,9	36,2	34,7	31,6	18,4	18,7	23,8	21,1	10,6	8,7	11,1	13,6	11,3	21,9	25,8
AS	C	37,3	35,6	36,7	33,5	22,5	19,7	24,6	13,9	11,1	10,7	12,0	13,9	11,6	23,9	24,2
UF2	A	0,0	0,5	1,3	1,6	1,5	1,4	0,9	0,8	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
UF2	B	0,6	0,7	1,4	1,5	1,5	10,7	1,0	1,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
UF2	C	0,7	1,0	1,3	1,6	0,8	0,3	1,1	0,7	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
OR3	A	0,0	0,0	0,0	0,2	0,3	0,5	0,5	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
OR3	B	0,0	0,0	0,0	0,2	0,3	0,4	0,6	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
OR3	C	0,0	0,0	0,0	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	0,0
CONC	C	2,0	2,6	2,6	5,1	4,2	3,2	3,1	2,9	1,5	1,7	1,2	0,9	0,0	1,1	0,9

Tabela D.5 – Resultados dos ensaios de pH

Ponto de coleta		Data														
		14/11	15/11	16/11	17/11	18/11	21/11	22/11	23/11	24/11	25/11	28/11	29/11	30/11	01/12	02/12
AS	A	6,84	6,93	6,92	6,71	6,89	6,93	6,90	6,94	6,54	6,75	6,72	6,71	6,83	6,82	6,85
AS	B	6,88	6,79	6,85	6,71	6,88	6,94	6,88	6,98	6,62	6,71	6,77	6,76	6,87	6,81	6,86
AS	C	6,95	6,88	6,89	6,78	6,91	6,98	6,98	7,03	6,72	6,80	6,86	6,83	6,93	6,87	6,86
UF2	A	6,51	6,15	6,55	6,22	6,49	6,19	6,45	6,49	6,44	6,15	5,66	6,20	6,26	6,44	6,45
UF2	B	6,86	6,53	6,52	6,31	6,19	6,53	6,44	6,27	6,30	6,20	6,19	6,21	6,29	6,49	6,54
UF2	C	6,83	6,5	6,54	6,20	6,78	6,38	6,54	5,80	6,27	6,22	6,32	6,37	6,28	6,51	6,76
OR3	A	6,43	6,2	6,09	6,31	6,15	6,18	6,11	6,18	6,08	5,94	5,85	6,10	5,89	6,22	6,33
OR3	B	6,08	6,27	6,05	6,19	6,14	6,12	6,11	6,24	5,87	5,94	5,83	5,95	5,93	6,35	6,38
OR3	C	6,13	6,07	6,08	6,20	6,19	6,08	6,19	6,11	6,03	6,04	5,80	5,99	5,90	6,45	6,34
CONC	C	6,67	6,68	6,67	6,84	6,81	6,63	6,57	6,56	6,66	6,69	6,68	6,68	6,71	6,83	6,77

Tabela D.6 – Resultados dos ensaios de alcalinidade (mg L⁻¹)

Ponto de coleta		Data														
		14/11	15/11	16/11	17/11	18/11	21/11	22/11	23/11	24/11	25/11	28/11	29/11	30/11	01/12	02/12
AS	A	7,70	7,52	7,22	6,33	6,59	7,81	7,70	7,71	8,65	8,75	8,04	9,27	9,18	8,61	8,70
AS	B	7,71	7,52	7,26	6,34	6,81	7,34	7,56	7,61	8,13	9,10	8,24	8,13	9,63	8,69	8,53
AS	C	8,03	7,38	7,10	6,61	6,96	7,24	7,56	7,67	8,37	8,62	8,60	8,01	9,73	8,52	8,57
UF2	A	2,96	1,00	3,29	2,98	3,16	2,35	3,63	3,28	3,35	3,30	0,96	3,37	3,80	3,79	3,86
UF2	B	4,57	2,37	3,05	2,75	2,85	3,50	3,90	2,65	3,10	3,28	3,02	2,83	3,78	3,94	4,28
UF2	C	3,85	2,51	2,71	2,03	1,96	3,38	3,93	1,42	2,72	2,73	3,57	3,33	3,78	4,07	3,99
OR3	A	1,04	1,04	0,76	1,47	1,36	1,65	1,64	1,35	1,12	1,21	1,35	1,29	1,09	1,29	1,31
OR3	B	0,79	0,82	0,99	1,41	1,67	1,61	1,65	1,58	1,14	1,28	1,34	1,37	1,02	1,35	1,24
OR3	C	0,62	0,74	0,55	1,43	1,33	1,64	1,71	1,64	1,31	1,32	1,28	1,33	1,00	1,28	1,24
CONC	C	6,82	6,26	6,11	5,69	5,49	4,46	5,14	5,11	6,21	6,65	6,11	6,37	7,53	7,89	7,82

Tabela D.7 – Resultados dos ensaios de dureza total (mg L⁻¹)

Ponto de coleta		Data														
		14/11	15/11	16/11	17/11	18/11	21/11	22/11	23/11	24/11	25/11	28/11	29/11	30/11	01/12	02/12
AS	A	143,16	120,00	150,53	137,63	137,63	148,39	140,86	145,16	143,01	139,79	143,01	144,09	146,24	151,55	149,49
AS	B	145,26	124,21	147,37	135,48	136,56	150,54	140,86	143,01	151,61	140,86	144,09	137,63	149,46	153,61	154,64
AS	C	145,26	126,32	145,26	153,76	133,33	162,37	140,86	144,09	150,54	138,71	147,31	136,56	145,16	153,61	152,58
UF2	A	177,90	117,90	140,00	140,86	155,91	146,24	137,63	143,01	154,64	144,09	151,61	158,07	154,84	170,10	155,67
UF2	B	142,11	114,74	143,16	135,48	136,56	165,59	146,24	137,63	150,54	150,54	160,22	150,54	154,84	161,86	150,52
UF2	C	142,11	124,21	146,32	145,16	144,09	146,24	143,01	141,94	151,61	147,31	151,61	151,61	154,84	170,10	153,61
OR3	A	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,28	10,31
OR3	B	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,28	6,19
OR3	C	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,34	6,19
CONC	C	329,47	318,95	322,11	112,90	484,95	564,52	554,84	549,46	531,18	575,27	506,45	480,65	465,59	461,62	452,53

Tabela D.8 – Resultados dos ensaios de cálcio (mg L⁻¹)

Ponto de coleta		Data														
		14/11	15/11	16/11	17/11	18/11	21/11	22/11	23/11	24/11	25/11	28/11	29/11	30/11	01/12	02/12
AS	A	34,4	25,8	29,0	24,7	25,8	34,4	28,0	29,0	27,8	27,8	28,9	26,8	26,8	30,3	30,3
AS	B	25,8	22,6	24,7	25,8	24,7	30,1	30,1	29,0	26,8	27,8	28,9	26,8	27,8	29,3	31,3
AS	C	25,8	24,7	28,0	26,9	21,5	34,4	29,0	32,3	28,9	28,9	34,0	28,9	27,8	27,3	29,3
UF2	A	26,9	23,7	28,0	31,2	31,2	30,1	31,2	32,3	32,0	24,7	24,7	24,7	25,8	30,3	31,3
UF2	B	35,5	24,7	30,1	25,8	31,2	34,4	37,6	31,2	32,0	26,8	24,7	21,6	26,8	29,3	30,3
UF2	C	29,0	24,7	30,1	31,2	30,1	33,3	30,1	32,3	30,9	25,8	24,7	24,7	27,8	28,3	30,3
OR3	A	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
OR3	B	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
OR3	C	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CONC	C	26,9	31,2	24,7	32,3	32,3	36,6	40,9	38,7	48,5	58,8	45,4	50,5	48,5	63,6	62,6

Tabela D.9 – Resultados dos ensaios de magnésio (mg L⁻¹)

Ponto de coleta		Data														
		14/11	15/11	16/11	17/11	18/11	21/11	22/11	23/11	24/11	25/11	28/11	29/11	30/11	01/12	02/12
AS	A	108,7	94,2	121,5	112,9	111,8	114,0	112,9	116,1	115,2	112,0	114,1	117,3	119,4	121,2	119,2
AS	B	119,5	101,6	122,6	109,7	111,8	120,4	110,8	114,0	124,8	113,0	115,2	110,8	121,6	124,3	123,3
AS	C	119,5	101,6	117,3	126,9	111,8	128,0	111,8	111,8	121,7	109,8	113,3	107,7	117,3	126,3	123,3
UF2	A	151,0	94,2	112,0	109,7	124,7	116,1	106,5	110,8	122,7	119,3	126,9	133,3	129,1	139,8	124,4
UF2	B	106,6	90,0	113,1	109,7	105,4	131,2	108,6	106,5	118,6	123,7	135,5	128,9	128,0	132,6	120,2
UF2	C	113,1	99,5	116,2	114,0	114,0	112,9	112,9	109,7	120,7	121,5	126,9	126,9	127,0	141,8	123,3
OR3	A	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,3	10,3
OR3	B	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,3	6,2
OR3	C	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,3	6,2
CONC	C	302,6	287,8	297,4	80,6	452,7	528,0	514,0	510,8	482,7	516,5	461,1	430,1	417,1	398,0	389,9

Tabela D.10 – Resultados dos ensaios de cloretos (mg L⁻¹)

Ponto de coleta		Data														
		14/11	15/11	16/11	17/11	18/11	21/11	22/11	23/11	24/11	25/11	28/11	29/11	30/11	01/12	02/12
AS	A	464,6	413,0	450,6	413,0	389,6	408,3	394,2	403,6	415,2	400,9	400,9	400,9	400,9	429,5	419,9
AS	B	427,1	384,9	427,1	413,0	384,9	413,0	389,6	408,3	415,2	396,1	424,7	410,4	405,6	419,9	419,9
AS	C	436,5	370,8	441,2	403,6	389,6	422,4	403,6	408,3	429,5	396,1	405,6	400,9	410,4	429,5	415,2
UF2	A	445,9	384,9	431,8	413,0	384,9	408,3	413,0	417,7	424,7	405,6	410,4	419,9	419,9	429,5	424,7
UF2	B	417,7	370,8	441,2	408,3	403,6	422,4	403,6	408,3	424,7	410,4	410,4	410,4	415,2	434,3	443,8
UF2	C	445,9	380,2	436,5	413,0	398,9	417,7	398,9	417,7	477,2	405,6	419,9	410,4	419,9	434,3	439,0
OR3	A	4,7	0,0	0,0	0,0	0,0	4,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,7	0,0	0,0	4,8
OR3	B	4,7	4,7	4,7	0,0	4,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
OR3	C	4,7	0,0	0,0	4,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CONC	C	1689,6	1497,2	1483,1	1487,8	1542,8	1614,9	1586,0	1542,8	1293,2	1341,0	1412,5	1488,9	1608,2	1312,3	1302,8

Tabela D.11 – Resultados dos ensaios de sulfatos (mg L⁻¹)

Ponto de coleta		Data														
		14/11	15/11	16/11	17/11	18/11	21/11	22/11	23/11	24/11	25/11	28/11	29/11	30/11	01/12	02/12
AS	A	98,20	81,70	95,10	85,63	84,93	77,94	79,34	85,63	77,24	77,24	80,74	79,34	81,44	86,33	80,74
AS	B	102,10	89,60	88,80	84,93	91,22	84,23	76,55	82,14	80,04	81,44	83,53	88,42	81,44	82,14	90,52
AS	C	85,70	85,70	93,50	94,71	85,63	82,14	82,14	80,04	77,24	78,64	82,14	81,44	83,53	78,64	75,15
UF2	A	68,40	47,20	68,40	70,26	64,67	65,37	56,99	64,67	70,26	68,86	66,77	65,37	68,86	64,67	66,77
UF2	B	58,20	57,40	69,20	58,38	56,99	69,56	66,07	69,56	72,36	66,77	67,46	67,46	60,48	61,88	60,48
UF2	C	62,10	57,40	73,90	64,67	62,58	66,07	66,07	68,16	64,67	63,28	69,56	68,86	56,29	63,97	68,86
OR3	A	0,50	0,00	0,10	3,19	0,00	2,10	1,55	2,28	0,55	1,09	0,91	1,44	1,62	0,00	0,00
OR3	B	0,00	0,00	5,90	1,01	1,92	2,64	1,73	6,09	0,00	1,09	1,09	1,09	1,09	0,00	0,37
OR3	C	0,00	0,50	0,00	1,55	1,73	0,00	2,10	6,82	0,73	1,09	1,98	1,09	1,44	0,00	0,55
CONC	C	269,00	249,40	231,80	221,06	219,31	247,25	242,01	228,04	238,52	221,06	219,31	201,85	184,38	200,10	198,35

Tabela D.12 – Resultados dos ensaios de temperatura (°C)

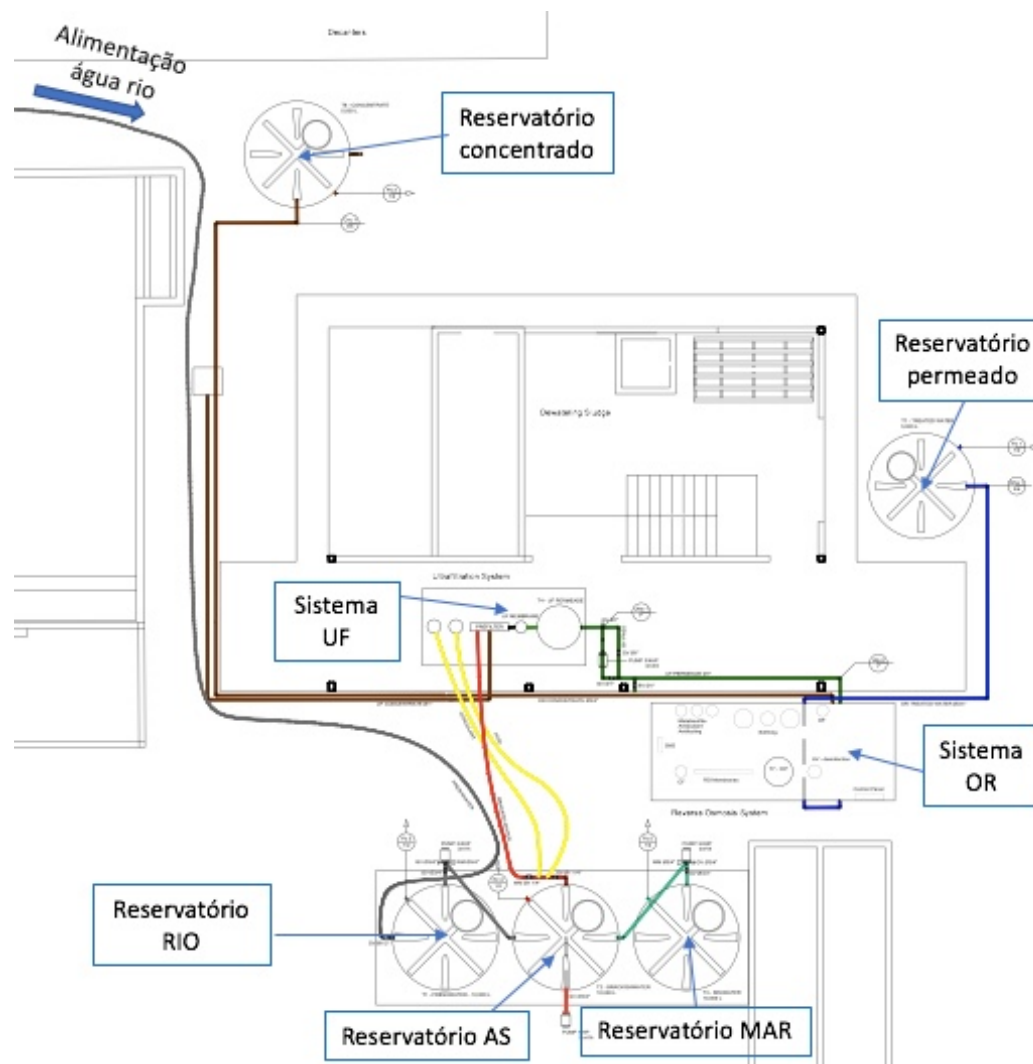
Ponto de coleta	Data														
	14/11	15/11	16/11	17/11	18/11	21/11	22/11	23/11	24/11	25/11	28/11	29/11	30/11	01/12	02/12
RIO A	23,1	24,4	25,3	25,7	25,5	26,3	24,6	23,1	23,8	23,4	25,2	24,2	21,9	24,3	22,6
MAR A	23,0	24,5	25,6	26,4	25,7	26,3	24,4	23,1	24,5	25,0	28,8	24,9	22,5	23,5	23,5
AS A	23,7	25,2	25,8	26,6	25,9	26,5	25,3	24,1	24,5	24,6	25,7	25,0	22,7	24,4	23,5
AS B	23,6	25,6	26,2	27,0	26,1	26,9	25,7	24,7	25,3	25,3	26,6	25,1	23,1	24,8	24,0
AS C	24,0	26,0	27,3	27,4	25,9	26,9	26,1	25,4	26,2	24,9	28,2	24,8	23,3	26,0	24,0
UF1 A	23,7	25,1	25,9	26,7	26,0	26,7	25,3	24,2	24,6	24,7	25,8	25,0	22,8	24,4	23,7
UF1 B	23,6	25,5	26,2	26,7	26,0	26,9	26,0	24,8	25,3	25,3	26,3	25,3	23,2	24,8	24,1
UF1 C	24,0	25,9	27,1	27,3	26,1	26,9	26,3	25,6	26,1	25,0	28,1	25,3	23,2	26,2	24,1
UF2 A	23,7	25,0	25,9	26,5	26,1	26,7	25,3	24,2	24,6	24,7	25,9	25,0	22,8	24,5	23,6
UF2 B	23,6	25,4	26,2	26,8	25,9	26,8	25,9	24,8	25,4	25,1	26,3	25,2	23,0	24,7	24,0
UF2 C	24,0	25,9	27,1	27,2	25,6	26,9	26,2	25,5	26,0	25,0	27,8	25,3	23,2	26,1	24,1
OR1 A	23,9	25,4	26,0	26,6	25,9	26,8	25,4	24,1	24,5	24,8	26,0	25,2	22,5	24,3	23,7
OR1 B	23,8	25,9	26,4	26,9	26,3	27,0	26,0	25,0	25,4	25,5	26,6	25,5	23,2	24,9	24,3
OR1 C	24,1	25,9	27,1	27,4	26,2	27,1	26,0	25,8	26,0	25,2	28,0	25,4	23,2	26,0	24,2
OR2 A	23,9	25,4	26,0	26,7	25,9	26,8	25,4	24,2	24,5	24,8	26,0	25,2	22,6	24,4	23,7
OR2 B	23,9	25,9	26,4	27,0	26,4	27,0	26,0	25,0	25,4	25,5	26,6	25,5	23,2	25,0	24,3
OR2 C	24,1	25,9	27,0	27,3	26,3	27,1	26,2	25,8	26,0	25,2	27,8	25,5	23,2	26,1	24,3
OR3 A	24,3	25,8	26,4	26,9	26,3	27,2	25,5	24,6	24,8	25,1	26,3	24,8	22,9	24,6	24,1
OR3 B	24,3	26,4	26,9	27,4	26,8	27,4	26,4	25,4	25,8	25,8	26,9	25,9	23,8	25,3	24,7
OR3 C	24,2	26,3	27,2	27,7	26,7	27,5	26,5	26,2	26,3	25,5	28,1	25,8	23,4	26,4	24,5
OR4 A	24,4	25,8	26,5	27,1	26,4	27,3	25,5	24,6	24,9	25,2	26,5	25,0	22,9	24,6	24,1
OR4 B	24,3	26,4	27,0	27,4	26,8	27,5	26,4	25,4	25,9	25,9	27,0	25,9	23,8	25,3	24,7
OR4 C	24,3	26,3	27,2	27,8	26,7	27,5	26,4	26,2	26,3	25,6	28,2	25,9	23,5	26,5	24,5
CONC C	23,7	25,7	25,7	27,2	25,4	26,9	25,4	24,7	25,6	24,5	27,2	24,7	23,0	25,8	24,0

Tabela D.13 – Quantidade de PAC utilizado na coagulação (mg L⁻¹)

	Data														
	14/11	15/11	16/11	17/11	18/11	21/11	22/11	23/11	24/11	25/11	28/11	29/11	30/11	01/12	02/12
PAC	25,71	25,06	24,98	25,42	25,27	13,83	13,72	18,60	16,92	16,75	12,82	13,33	15,66	15,73	15,67

ANEXO A – LAYOUT DA INSTALAÇÃO DO SISTEMA PILOTO DE
DESSALINIZAÇÃO

Figura A.1 – Layout da instalação do sistema piloto de dessalinização



Fonte: SZÉLIGA, M. R. Layout da instalação do sistema piloto de dessalinização. 2016.