

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIENCIAS (CTG)
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Thales Cavalcanti de Siqueira

ESTUDO E COMPARAÇÃO ENTRE QUATRO MÉTODOS DE
TRATAMENTO DE ÁGUA UTILIZADOS ATUALMENTE

Recife
2017

Thales Cavalcanti de Siqueira

ESTUDO E COMPARAÇÃO ENTRE QUATRO MÉTODOS DE TRATAMENTO DE ÁGUA UTILIZADOS ATUALMENTE

Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Engenharia Civil da
Universidade Federal de Pernambuco como
requisito básico para a conclusão do curso de
Engenharia Civil.

Orientador: Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral

Recife
2017

Catálogo na fonte
Bibliotecária: Neide Mesquita Gonçalves Luz / CRB4-1361 (BCTG)

S618e Siqueira, Thales Cavalcanti de.
Estudo e comparação entre quatro métodos de tratamento de água
utilizados atualmente / Thales Cavalcanti de Siqueira. – 2017.
91f., il., figs., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral.
TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2017.
Inclui Referências.

1. Engenharia Civil. 2. Tratamento de água. 3. Contaminação de água.
4. Métodos de tratamento. I. Cabral, Jaime Joaquim da Silva Pereira
(Orientador). II. Título.

624 CDD (22.ed)

UFPE/BCTG-2017/ 350

Thales Cavalcanti de Siqueira

**ESTUDO E COMPARAÇÃO ENTRE QUATRO MÉTODOS DE
TRATAMENTO DE ÁGUA UTILIZADOS ATUALMENTE**

Trabalho submetido à Banca Examinadora
e julgado adequado como parte dos
requisitos para a conclusão do curso de
graduação em Engenharia Civil

Aprovado em: 02/10/2017

BANCA EXAMINADORA:

Dr. Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral (Orientador)

Dr. Anderson Luiz Ribeiro de Paiva

Dr. Paulo Tadeu Ribeiro de Gusmão

Recife

2017

Dedico este trabalho, e todo o percurso, à minha família, pelo estímulo incondicional e o suporte de valores para que tudo fosse possível.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, por toda a paciência e porque sempre estiveram presentes em todos os anos, se privando de várias coisas para me dar educação e valores suficientes para encarar a vida.

Agradeço ao meu irmão, Tarsis, por todo auxílio e por tudo que me ensinou durante toda a minha vida.

À Universidade Federal de Pernambuco, juntamente com seus professores, pelos ensinamentos e dedicação. E em especial ao Professor Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral por ter aceitado ser o orientador do meu TCC e por ter tido toda a paciência e dedicação nessa tarefa.

Agradeço a todos os meus colegas, pelo tempo que compartilhamos diariamente nesses anos, aos meus amigos novos, que se tornarão velhos amigos, e aos meus velhos amigos, que serão meus eternos amigos.

Enfim, agradeço a todos, que de uma forma ou outra, me ajudaram nessa caminhada.

"Aqueles que procuram um milagre nunca vão experienciar um. A mão da salvação só se estende àqueles que tentam fazer milagres acontecerem."

(EF - A Tale of Melodies)

RESUMO

As pesquisas em torno do tratamento de água vêm se tornando mais importantes a cada dia por proporcionar avanços nas técnicas de tratamento e assim, suprir a demanda de água local com o menor custo possível para o tratamento da mesma. O presente trabalho versa sobre o estudo de quatro métodos de tratamento de água utilizados atualmente com o objetivo de difundi-los (os menos conhecidos) bem como aumentar o conhecimento acerca dos mesmos para que se possa ser feita a utilização destes métodos com uma maior clareza a respeito do que está sendo implantado. Primeiramente, há um breve resumo sobre os principais tipos de contaminação de água, seguido pelo histórico da evolução do padrão de potabilidade brasileiro. O trabalho segue com um estudo sobre os quatro métodos de tratamento discutidos com um posterior comparativo entre os mesmos. Finalmente o presente trabalho apresenta um projeto de uma estação de tratamento de ciclo completo.

Palavras-chave: Tratamento de água. Contaminação de água. Métodos de tratamento.

ABSTRACT

The researches about water treatment are becoming more important each day that passes due to the fact that they allow advancements in water treatment techniques and so, meet the local water demand with the less possible cost. The present work discuss about the study of four water treatment methods that are currently used with the objective of knowledge diffusion (the less known), as well as increase the knowledge about them, so that they can be used with a better insight about what is beign implemented. First there is a summary about the main kind of water contaminants, followed by a history of the elovution of the potability standards in Brazil. This work then follows with a study about the four water treatment methods discussed with a further comparative between them. Finnaly the present work presents a project of a full cicle water treatment station.

Keywords: Water treatment. Water contaminants. Treatment methods.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1 - Padrão microbiológico de água para consumo humano.....	26
Quadro 2 - Padrão de turbidez para água pós-filtração ou pré-desinfecção.....	26
Quadro 3 - Padrão de potabilidade para substâncias químicas que representam risco à saúde.....	26
Quadro 4 - Padrão organoléptico de potabilidade.	28
Figura 1 - Esquema de aplicação dos conceitos de múltiplas barreiras, tratamento integrado e tratamento por objetivos.....	30
Figura 2 - Coaguladores na ETA Pirapama-PE.....	31
Figura 3 - Floculadores na ETA Pirapama-PE.	32
Figura 4 - Decantadores na ETA Pirapama-PE.....	33
Figura 5 - Filtros na ETA Pirapama-PE.....	34
Figura 6 - Tanques de cloro na ETA Pirapama-PE.	35
Figura 7 - Tanque de contato na ETA Pirapama-PE.	35
Figura 8 - Fracionamento de uma solução através de membrana.....	36
Figura 9 - O fenômeno osmótico.....	37
Figura 10 - Classificação dos processos de separação por membranas.....	38
Quadro 5 - Principais aplicações da OR.	39
Figura 11 - Estação de tratamento de Osmose Reversa.....	41
Figura 12 - Captação de água do mar.	42
Quadro 6 - Principais tipos de incrustantes e seus pré-tratamentos.....	43
Figura 13 - Bomba de alta pressão.	44
Figura 14 - Conjunto de membranas.....	45
Figura 15 - Tratamento UV.	46
Figura 16 - Esquema de Filtração em Margem.	47
Figura 17 - Tipos de poços utilizados na Filtração em Margem.	50
Figura 18 - Plataforma de desinfecção solar.	53
Figura 19 - Espectro de luz.	54
Figura 20 - Desinfecção solar sendo usada na África.	57
Figura 21 - Esquema de sacolas de polietileno usadas no experimento.	58
Figura 22 - Reatores usados no experimento.	59
Figura 23 - Vista em planta da calha Parshall.	74
Figura 24 - Corte lateral da calha Parshall.	74
Figura 25 - Câmara de mistura rápida.	75
Figura 26 - Corte frontal dos floculadores.	76

Figura 27 - Corte lateral dos floculadores.	77
Figura 28 - Corte frontal do decantador.	79
Figura 29 - Corte lateral do decantador.	79
Figura 30 - Corte do filtro.	81
Figura 31 - Corte do tanque de contato.....	82
Figura 32 - Esquema da ETA em planta.	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Processo de separação por diferentes membranas.	38
Tabela 2 - Resultados obtidos por Cabral <i>et al.</i> (2010).	51
Tabela 3 - Irradiância solar.	55
Tabela 4 - Custos envolvidos no tratamento de ciclo completo (ETA 20L/s).	65
Tabela 5 - Custos envolvidos na produção de água tratada da COMPESA.	65
Tabela 6 - Custos envolvidos na osmose reversa (15,6 L/s).	66
Tabela 7 - Custos envolvidos na filtração em margem (3,47 L/s).	67

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

µg	Micrograma
µm	Micrômetro
Al	Alumínio
atm	Atmosfera
Bsb	Brasília
cm	Centímetro
COD	Carbono Orgânico Dissolvido
COMPESA	Companhia Pernambucana de Saneamento
COT	Carbono Orgânico Total
CV	Cavalo-vapor
d	Dia
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
ETA	Estação de Tratamento de Água
Fe	Ferro
FM	Filtração em Margem
g	Grama
h	Hora
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ISO	International Organization for Standardization
K	Kelvin
km	Quilômetro
L	Litro
log	Logaritmo
m	Metro
m ²	Metro Quadrado
m ³	Metro Cúbico
mg	Miligrama
microS	Microsiemens
mL	Mililitro
mm	Milímetro
MMA	Ministério do Meio Ambiente

MPa	Mega Pascal
MS	Ministério da Saúde
ND	Não há Dados
nm	Nanômetro
NMP	Número Mais Provável
NTU	Nephelometric Turbidity Unit
OMS	Organização Mundial da Saúde
OR	Osmose Reversa
PAC	Policloreto de Alumínio
PE	Pernambuco
PET	Polietileno tereftalato
pH	Potencial Hidrogeniônico
PM	Peso Molecular
Psi	Pound Square Inch
PSM	Processo de Separação por Membranas
PVC	Policloreto de polivinila
s	Segundo
SDT	Sólidos Dissolvidos Totais
Si	Silício
Sisagua	Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano
SNVS	Secretaria Nacional de Vigilância Sanitária
SODIS	Solar Solar Disinfection
SST	Sólidos Suspensos Totais
SVS	Secretaria de Vigilância em Saúde
TFC	Thin Film Composit
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
uT	Unidade de Turbidez
UV	Ultravioleta
VMP	Valor Máximo Permitido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	JUSTIFICATIVA	18
3	OBJETIVOS	19
3.1	Geral	19
3.2	Específicos	19
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
4.1	Tipos de poluição da água	20
4.1.1	Poluição biológica das águas	20
4.1.2	Poluição térmica das águas	20
4.1.3	Poluição química das águas	21
4.1.4	Poluição sedimentar das águas	21
4.1.5	Poluição radioativa das águas	21
4.2	Evolução do padrão de potabilidade no Brasil	22
4.3	Tratamento de água	29
4.3.1	Estação de tratamento de ciclo completo	29
4.3.1.1	Coagulação	30
4.3.1.2	Floculação	31
4.3.1.3	Decantação	32
4.3.1.4	Filtração	33
4.3.1.5	Desinfecção	34
4.3.2	Osmose Reversa	36
4.3.2.1	Captação	41
4.3.2.2	Pré-Tratamento	42
4.3.2.3	Bomba de alta pressão	43
4.3.2.4	Conjunto de membranas	44
4.3.2.5	Remineralização e ajuste de pH	45
4.3.2.6	Desinfecção	46
4.3.3	Filtração em Margem	47
4.3.3.1	Processos que ocorrem durante a Filtração em Margem	48
4.3.3.2	Tipos de poços	50
4.3.3.3	Qualidade da água	51
4.3.3.4	Experiências práticas	51
4.3.4	Desinfecção solar	53

4.3.4.1	<i>Processos que ocorrem na desinfecção solar</i>	56
4.3.4.2	<i>Experiências práticas</i>	57
5	COMPARATIVO ENTRE OS MÉTODOS	60
5.1	Poluentes que os métodos são capazes de remover	60
5.1.1	Ciclo Completo	61
5.1.2	Osmose Reversa	62
5.1.3	Filtração em Margem	62
5.1.4	Desinfecção Solar	63
5.2	Custos de implantação e operação dos métodos	63
5.2.1	Ciclo Completo	65
5.2.2	Osmose Reversa	66
5.2.3	Filtração em Margem	67
5.2.4	Desinfecção Solar	68
5.3	Número de pessoas que serão abastecidas	68
5.3.1	Ciclo Completo	68
5.3.2	Osmose Reversa	68
5.3.3	Filtração em Margem	68
5.3.4	Desinfecção Solar	69
5.4	Local em que os métodos podem ser implantados	69
5.4.1	Ciclo Completo	69
5.4.2	Osmose Reversa	69
5.4.3	Filtração em Margem	70
5.4.4	Desinfecção Solar	70
6	CRITÉRIOS DE DECISÃO	71
7	CONCLUSÃO	72
8	DIMENSIONAMENTO ETA DE CICLO COMPLETO	73
8.1	Vazão de projeto	73
8.2	Estrutura de chegada de água bruta	73
8.3	Floculadores	75
8.4	Decantadores	77
8.5	Filtros	80
8.6	Tanque de contato	81
	REFERÊNCIAS	84

1 INTRODUÇÃO

É sabido que a existência da água é essencial para o desenvolvimento de praticamente todas as atividades realizadas pelo homem, sejam elas urbanas, industriais ou agropecuárias.

A história mostra uma intensa conexão entre o desenvolvimento econômico e dos recursos hídricos. São muitos os exemplos de como a água tem contribuído para o desenvolvimento econômico e como tem sido aumentado o aproveitamento da água. Nossos requerimentos para a água tanto em termos de necessidade pessoal quanto em nossa busca por um melhor padrão de vida, associados com a necessidade de água no sustento do planeta com frágeis ecossistemas, fazem da água algo único nos recursos naturais do nosso planeta.

Percebe-se então que a água, em alguns territórios, está se tornando um recurso escasso e com qualidade comprometida e que os crescentes desmatamentos, processos de erosão/assoreamento dos mananciais, lançamentos de efluentes e detritos industriais e domésticos nos recursos hídricos tem contribuído para tal situação. Nos países em desenvolvimento essa problemática é agravada em razão da baixa cobertura da população com serviços de saneamento.

É importante lembrar que a poluição hídrica exige que o tratamento da água, visando a sua potabilização, utilize recursos cada vez mais sofisticados (VIANNA, 2002).

A qualidade de uma água é definida por sua composição química, física e microbiológica. As características desejáveis de uma água dependem de sua utilização. Para o consumo humano existe a necessidade de uma água saudável, isto é, livre de matéria suspensa visível, cor, sabor, odor, e livre também de quaisquer organismos capazes de provocar enfermidades e de quaisquer substâncias orgânicas ou inorgânicas que possam produzir efeitos fisiológicos prejudiciais. A qualidade de determinada água é avaliada por um conjunto de parâmetros determinados por uma série de análises físicas, químicas e biológicas.

Doenças relacionadas à contaminação de água para beber constituem um grande problema na saúde humana. Intervenções para melhorar a qualidade da água para consumo proporcionam benefícios significativos à saúde (OMS, 2008).

Os serviços públicos de abastecimento devem fornecer sempre água potável. O tratamento de água contribui significativamente no controle das doenças de veiculação hídrica.

Evidencia-se então a necessidade do investimento em pesquisa para o melhor aproveitamento de técnicas de tratamento de água. E é nesse aspecto que esse projeto se baseia, fazendo uma relação entre a qualidade da água a ser tratada e quatro tipos de tratamento de água: tratamento em ciclo completo, tratamento de água utilizando somente a luz do sol (tratamento utilizando ultravioleta), tratamento utilizando a técnica de filtração em margem e tratamento utilizando osmose reversa. Essa relação será feita visando estabelecer qual o tipo de tratamento mais indicado fazendo uma comparação entre os mesmos e efetuando o dimensionamento de uma Estação de Tratamento de Água de ciclo completo.

2 JUSTIFICATIVA

A água é essencial para a nossa sociedade, sem ela em quantidade e qualidade adequadas, não é apenas o desenvolvimento econômico-social e a nossa rotina que ficam comprometidos, mas também a nossa própria sobrevivência. Só existimos porque há água na Terra. Por isso, a disponibilidade desse recurso é uma das principais questões socioambientais do mundo atual. De acordo com o relatório divulgado em 2015 pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO), Até 2030, o planeta enfrentará um déficit de água de 40%, a menos que seja melhorada dramaticamente a gestão desse recurso precioso (UNESCO, 2015).

Uma das causas da escassez hídrica em nosso país (principalmente nas regiões mais pobres) é a chamada escassez econômica, indicando que o Brasil, apesar de possuir uma grande volume de água doce (entre 12 e 16% da água doce da superfície do planeta), não possui um aproveitamento adequado desse recurso (enquanto na região Sudeste 87,5% dos domicílios são atendidos por rede de distribuição de água, no Nordeste a porcentagem é de apenas 58,7%) (MMA, 2009).

O Brasil registra também elevado desperdício: de 20% a 60% da água tratada para consumo se perde na distribuição (MMA, 2009).

Com uma eventual realização do tratamento da água de maneira mais inteligente (tratamento mais barato para água de melhor qualidade e tratamento mais caro para água de pior qualidade) os recursos econômicos seriam aproveitados de maneira mais eficiente, o que levaria a uma redução da crise hídrica no Brasil.

3 OBJETIVOS

3.1 Geral

O estudo visa analisar quatro técnicas de tratamento de água com posterior comparação das mesmas a fim de compreender em quais situações elas são melhor aproveitadas para que se possa evitar um sub-dimensionamento ou super-dimensionamento de estações de tratamento visando uma economia de recursos e atingindo o padrão de qualidade da água estabelecida pelas normas brasileiras.

3.2 Específicos

- Fazer uma breve revisão sobre a poluição da água bem como sobre a evolução das normas do padrão de potabilidade do Brasil.
- Adquirir conhecimento in loco sobre os métodos de tratamento de água aqui mencionados, realizando visitas às estações de tratamento, para que o projeto tenha também um caráter prático e não somente teórico.
- Comparar os tipos de tratamento de água que serão estudados.
- Definir os critérios de decisão acerca de qual tipo de tratamento é o mais adequado a ser utilizado.
- Elaborar um projeto de uma Estação de Tratamento de água de ciclo completo.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Tipos de poluição da água

Entre os três principais tipos de poluição (das águas, do solo e do ar), a poluição das águas é a mais preocupante, tendo em vista a necessidade imprescindível que nós temos de água. É importante então saber quais são as fontes de poluição das águas para evitá-las. Existem vários tipos de poluição das águas, cuja classificação depende das origens ou causas e também das consequências.

4.1.1 Poluição biológica das águas

Acontece quando os corpos de água possuem microorganismos patogênicos, tais como bactérias, vírus, vermes e protozoários oriundos principalmente de esgotos domésticos e industriais. Eles podem ser lançados diretamente na água ou podem infiltrar-se nos solos, atingindo águas subterrâneas. As consequências desse tipo de poluição são as várias doenças que podem ser transmitidas aos humanos e animais.

4.1.2 Poluição térmica das águas

Ocorre quando são lançadas nos recursos hídricos grandes quantidades de águas aquecidas que foram usadas, por exemplo, em indústrias para aquecer caldeiras, em processos de refrigeração de refinarias, siderurgias, usinas termoelétricas e usinas nucleares.

A água quente diminui a solubilidade do gás oxigênio na água, o que provoca a morte de muitos peixes e outros animais aquáticos. O aumento da temperatura da água também acelera reações de outros poluentes, se já estiverem presentes na água, e afeta o ciclo de reprodução de algumas espécies. Esse tipo de poluição tem pouco efeito sobre a potabilidade da água.

4.1.3 Poluição química das águas

Ocorre por produtos químicos nocivos e indesejáveis, sendo essa a mais problemática de todas as poluições das águas que estamos citando, pois seus efeitos podem ser sutis e demorar muito tempo para serem percebidos.

Entre os principais poluentes químicos estão os fertilizantes agrícolas. Outros poluentes são compostos sintéticos, como plásticos, herbicidas, inseticidas, tintas, detergentes, solventes, remédios e aditivos alimentares. Há também os derramamentos de petróleo por acidentes de navios que transportam esse combustível. Além disso, o descarte de compostos inorgânicos e minerais, como os metais pesados, podem causar intoxicações, deformações e morte.

4.1.4 Poluição sedimentar das águas

Ocorre quando há o acúmulo de partículas em suspensão, tais como do solo e de produtos insolúveis inorgânicos e orgânicos. Isso é resultado, por exemplo, da acumulação de lixos e detritos que possuem poluentes químicos e biológicos que impedem a entrada de luminosidade nos recursos hídricos, o que dificulta a fotossíntese realizada pelas algas e a visualização da comida pelos animais aquáticos. Esse tipo de poluição corresponde atualmente à maior massa de poluentes e gera a maior quantidade de poluições.

4.1.5 Poluição radioativa das águas

Ocorre por meio dos resíduos radioativos lançados no ar e no solo por experiências nucleares, lixos atômicos gerados em usinas nucleares e em hospitais.

4.2 Evolução do padrão de potabilidade no Brasil

Entende-se por água potável aquela que pode ser bebida sem causar danos à saúde ou objeções de caráter organoléptico. Por extensão, aquela que pode ser ingerida ou empregada no preparo de alimentos.

Água potável não é água pura, quimicamente falando. Na realidade, a água potável é uma solução de uma infinidade de substâncias, algumas das quais a água trouxe consigo da natureza e outras que são introduzidas ao longo dos processos de tratamento. Os limites em que essas substâncias podem estar presentes na água potável são estabelecidos pelo padrão de potabilidade.

Segundo a norma vigente, a portaria 2914/2011 (BRASIL, 2011), padrão de potabilidade, é “o conjunto de valores permitidos como parâmetro da qualidade da água para consumo humano, conforme definido nesta Portaria;” e água potável é “água que atenda ao padrão de potabilidade estabelecido nesta Portaria e que não ofereça riscos à saúde”.

Em 10 de julho de 1934, foi instituído pelo Decreto nº 24.643/1934 (BRASIL, 1934), o Código das Águas, que é o marco legal do gerenciamento dos recursos hídricos no Brasil e estabeleceu uma política hídrica moderna (para a época em questão), abrangendo alguns aspectos como aplicação de penalidades, aproveitamento das águas, regras para concessões, autorizações, fiscalizações, desapropriação e derivações.

Em 1975, foi aprovada a norma sobre fluoretação de águas para sistemas públicos destinados ao abastecimento e consumo humano (BRASIL, 1975).

A publicação do decreto federal nº 79.367 de 9 de março de 1977 (BRASIL, 1977) marca o início da história da regulação sanitária da qualidade da água para consumo humano no Brasil. Segundo ele, fica atribuída ao Ministério da Saúde (MS) a imputação de criar normas e estabelecer o padrão de potabilidade da água para consumo humano, bem como zelar pelo seu efetivo cumprimento. A partir desse marco inicial, diversas legislações são elaboradas pelo Ministério da Saúde para controlar e regular a qualidade da água destinada ao consumo humano.

Em 1977, foi aprovada a norma sobre o padrão de potabilidade de água para consumo humano (BRASIL, 1977). Essa portaria definiu água potável destinada ao consumo humano e determina os valores máximos permissíveis das características

de qualidade previstas, características físicas, bacteriológicas, radiológicas e organolépticas.

Em 1978, foi publicada a norma sobre proteção sanitária dos mananciais, dos serviços de abastecimento público e o controle de qualidade e das suas instalações prediais (BRASIL, 1978).

Foi criado, em 1986, o Programa Nacional de Vigilância em Saúde Ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano, coordenado no âmbito federal pelo Ministério da Saúde/Secretaria de Vigilância em Saúde (MS/SVS), por meio da Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental (CGVAM). O programa foi criado com o objetivo de divulgar aos estados da federação a sistemática e o planejamento relacionado à vigilância da qualidade da água. Suas metas naquele momento eram:

- Prestar auxílio técnico-financeiro às Secretarias Estaduais de Saúde para que iniciassem um programa de vigilância de qualidade de água para consumo humano;
- Revisar a legislação relacionada ao tema;
- Capacitar tecnicamente os profissionais das Secretarias Estaduais de Saúde para atuarem em vigilância da qualidade da água;
- Definir estratégias em conjunto com as Secretarias de Saúde para garantir o apoio laboratorial necessário à verificação do cumprimento da legislação quanto ao padrão físico-químico e microbiológico da água consumida pela população (BRASIL, 2006).

O programa continuou a revisar a legislação vigente (BRASIL, 1977) e culminou com a elaboração da Portaria n.º 36/1990 (BRASIL, 1990), a qual trouxe novas perspectivas de atribuição e competência aos responsáveis pela prática sanitária de vigilância em saúde. O conceito de potabilidade foi mantido em relação à portaria anterior, mas trouxe inovações importantes como estabelecer os conceitos dos termos “Vigilância” e “Controle” de qualidade da água para consumo, definir serviço e sistema de abastecimento de água, incluir e revisar alguns parâmetros químicos e microbiológicos como a conceituação do grupo de coliformes fecais, coliformes termotolerantes e a contagem de bactérias heterotróficas.

Em mais um processo de revisão ocorrido em 2000, o Ministério da Saúde faz a revisão da Portaria nº 36GM/90, substituindo-a pela Portaria MS n.º 1.469/2000 que estabeleceu os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

O intervalo entre a publicação das portarias 36GM/90 e 1.469/2000 foi marcado por profundas mudanças no cenário de políticas de saúde, com o surgimento da Secretaria Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS) (Decreto Federal n.º 109/1991), a regulamentação da recém-criada Fundação Nacional de Saúde (Decreto Federal n.º 100/1991). Também foi criado o Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (Sisagua) que foi criado com o objetivo de manter atualizado um banco de dados com informações importantes, referentes às diferentes formas de abastecimento de água (WAJSMAN, 2014).

A Portaria 1.469/2000 incluiu uma série de alterações e novas disposições como a classificação dos tipos de sistemas (coletivo ou solução alternativa de abastecimento de água), a atribuição de competências e responsabilidade aos órgãos de saúde encarregados de realizar a vigilância pelo controle de qualidade da água e a incumbência de elaborar e aprovar o plano de amostragem para cada tipo de sistema, considerando seus aspectos mínimos.

É importante salientar que a Portaria 1.469/2000 incorporou um grande conhecimento técnico-científico em relação à qualidade da água para consumo humano, a exemplo dos riscos “emergentes” associados à Giárdia, *Cryptosporidium* e cianobactérias. Esta revisão incorporou ao parâmetro microbiológico, a pesquisa de cianobactérias e cianotoxinas, com recomendações a remoção de seus cistos e oocistos a partir do processo de filtração (FREITAS & FREITAS, 2005).

Foi revogada em 25 de março de 2004 a Portaria MS n. 1469/2000, passando a vigorar a Portaria 518/2004.

A Portaria MS nº 518/2004 reconheceu as limitações das bactérias do grupo coliforme como indicador pleno da qualidade microbiológica da água, assumindo a turbidez pós-filtração/pré-desinfecção como mais um componente do padrão microbiológico de potabilidade e estabelece parâmetros para o controle da

desinfecção. Voltou, portanto, atenção ao controle da remoção de patógenos, como os protozoários, os vírus e as bactérias.

A Portaria MS nº 518/2004 também foi considerada um significativo avanço por induzir a atuação integrada entre os responsáveis pelo controle e pela vigilância da qualidade da água, sempre com a finalidade de avaliar os riscos à saúde humana.

A legislação vigente é a Portaria MS nº 2914/2011 que define o padrão de potabilidade e os procedimentos e responsabilidades relativas ao controle e à vigilância da qualidade da água para consumo humano.

A Portaria MS nº 2914/2011 é resultado de um amplo processo de discussão para revisão da Portaria MS nº 518/2004, realizado no período entre 2009 a 2011, sob a coordenação do Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador, da Secretaria de Vigilância em Saúde do Ministério da Saúde (WAJSMAN, 2014). Ela apresenta algumas alterações como a afirmação de que, para parâmetros físico-químicos, é necessário considerar o histórico de resultados para avaliar se a água está atendendo ou não aos padrões da Portaria, diferente das últimas normas que afirmavam que qualquer resultado unitário fora dos padrões já poderia desclassificar a potabilidade da água.

Além disso, a Portaria traz avanços importantes com relação ao monitoramento de cianobactérias, introduzindo a necessidade de identificação dos gêneros com a finalidade de se avaliar a presença de algas produtoras de toxinas através da padronização do método para quantificação.

Também foi introduzida a recomendação da análise de Clorofila-A no manancial como indicador de potencial aumento da densidade de cianobactérias, permitindo maior agilidade no controle da qualidade da água captada. Ainda foi destacado entre as obrigações específicas dos responsáveis ou operadores do sistema de abastecimento de água para consumo humano, o exercício da garantia do controle da qualidade da água e encaminhamento à autoridade de saúde pública relatórios das análises dos parâmetros mensais, trimestrais e semestrais com informações sobre o controle da qualidade da água.

Os quadros abaixo exibem os padrões mais atuais de potabilidade para diversos tipos de substâncias e microorganismos que representam risco à saúde.

Quadro 1 - Padrão microbiológico de água para consumo humano.

Tipo de água		Parâmetro		VMP
Água para consumo humano		<i>Escherichia coli</i>		Ausência em 100 mL
Água tratada	Na saída do tratamento	Coliformes totais		Ausência em 100 mL
	No sistema de distribuição (reservatórios e rede)	<i>Escherichia coli</i>		Ausência em 100 mL
		Coliformes totais	Sistemas que abastecem menos de 20.000 habitantes	Apenas uma amostra, entre as amostras examinadas no mês, poderá apresentar resultado positivo
			Sistemas que abastecem a partir de 20.000 habitantes	Ausência em 100 mL em 95% das amostras examinadas no mês

Fonte: Portaria MS nº 2914/2011.

Quadro 2 - Padrão de turbidez para água pós-filtração ou pré-desinfecção.

Tratamento da água	VMP
Desinfecção (para águas subterrâneas)	1,0 uT em 95% das amostras
Filtração rápida (tratamento completo ou filtração direta)	0,5 uT em 95% das amostras
Filtração lenta	1,0 uT em 95% das amostras

Fonte: Portaria MS nº 2914/2011.

Quadro 3 - Padrão de potabilidade para substâncias químicas que representam risco à saúde.

Parâmetro	Unidade	VMP
INORGÂNICAS		
Antimônio	mg/L	0,005
Arsênio	mg/L	0,01
Bário	mg/L	0,7
Cádmio	mg/L	0,005
Chumbo	mg/L	0,01
Cianeto	mg/L	0,07
Cobre	mg/L	2
Cromo	mg/L	0,05
Fluoreto	mg/L	1,5
Mercúrio	mg/L	0,001
Níquel	mg/L	0,07
Nitrato (como N)	mg/L	10
Nitrito (como N)	mg/L	1
Selênio	mg/L	0,01
Urânio	mg/L	0,03

Quadro 3 - Padrão de potabilidade para substâncias químicas que representam risco à saúde (continuação).

ORGÂNICAS		
Acrilamida	µg/L	0,5
Benzeno	µg/L	5
Benzo[a]pireno	µg/L	0,7
Cloreto de Vinila	µg/L	2
1,2 Dicloroetano	µg/L	10
1,1 Dicloroetano	µg/L	30
1,2 Dicloroetano (cis + trans)	µg/L	50
Diclorometano	µg/L	20
Di(2-etilhexil) ftalato	µg/L	8
Estireno	µg/L	20
Pentaclorofenol	µg/L	9
Tetracloroeto de Carbono	µg/L	4
Tetracloroetano	µg/L	40
Triclorobenzenos	µg/L	20
Tricloroetano	µg/L	20
AGROTÓXICOS		
2,4 D + 2,4,5 T	µg/L	30
Alaclor	µg/L	20
Aldicarbe + Aldicarbesulfona + Aldicarbesulfóxido	µg/L	10
Aldrin + Dieldrin	µg/L	0,03
Atrazina	µg/L	2
Carbendazim + benomil	µg/L	120
Carbofurano	µg/L	7
Clordano	µg/L	0,2
Clorpirifós + clorpirifós-oxon	µg/L	30
DDT+DDD+DDE	µg/L	1
Diuron	µg/L	90
Endossulfan (α β e sais) (3)	µg/L	20
Endrin	µg/L	0,6
Glifosato + AMPA	µg/L	500
Lindano (gama HCH)	µg/L	2
Mancozebe	µg/L	180
Metamidofós	µg/L	12
Metolacoloro	µg/L	10
Molinato	µg/L	6
Parationa Metílica	µg/L	9
Pendimentalina	µg/L	20
Permetrina	µg/L	20
Profenofós	µg/L	60
Simazina	µg/L	2
Tebuconazol	µg/L	180
Terbufós	µg/L	1,2

Quadro 3 - Padrão de potabilidade para substâncias químicas que representam risco à saúde (continuação).

Trifluralina	µg/L	20
DESINFETANTES E PRODUTOS SECUNDÁRIOS DA DESINFECÇÃO		
Ácidos haloacéticos total	mg/L	0,08
Bromato	mg/L	0,01
Clorito	mg/L	1
Cloro residual livre	mg/L	5
Cloraminas Total	mg/L	4
2,4,6 Triclorofenol	mg/L	0,2
Trihalometanos Total	mg/L	0,1
CIANOTOXINAS		
Microcistinas	µg/L	1
Saxitoxinas	µg equivalente STX/L	3
RADIOATIVIDADE		
Rádio-226	Bq/L	1
Rádio-228	Bq/L	0,1

Fonte: Portaria MS nº 2914/2011.

Quadro 4 - Padrão organoléptico de potabilidade.

Parâmetro	Unidade	VMP
Alumínio	mg/L	0,2
Amônia (como NH ₃)	mg/L	1,5
Cloreto	mg/L	250
Cor Aparente	uH	15
1,2 diclorobenzeno	mg/L	0,01
1,4 diclorobenzeno	mg/L	0,03
Dureza total	mg/L	500
Etilbenzeno	mg/L	0,2
Ferro	mg/L	0,3
Gosto e odor	Intensidade	6
Manganês	mg/L	0,1
Monoclorobenzeno	mg/L	0,12
Sódio	mg/L	200
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	1000
Sulfato	mg/L	250
Sulfeto de hidrogênio	mg/L	0,1
Surfactantes (como LAS)	mg/L	0,5
Tolueno	mg/L	0,17
Turbidez	uT	5
Zinco	mg/L	5
Xilenos	mg/L	0,3

Fonte: Portaria MS nº 2914/2011.

4.3 Tratamento de água

As técnicas de tratamento de água foram criadas para remover os riscos presentes nas águas das fontes de abastecimento, por meio de uma combinação de processos de tratamento. A seleção da método deve satisfazer três conceitos fundamentais: múltiplas barreiras, tratamento integrado e tratamento por objetivos (PAZ, 2007).

O Princípio de Múltiplas Barreiras constitui-se de etapas do sistema onde se estabelecem procedimentos para prevenir, reduzir, eliminar ou minimizar a contaminação. A legislação brasileira recomenda esse princípio, por meio da avaliação sistemática do sistema de abastecimento de água, com base na ocupação da bacia contribuinte ao manancial, no histórico das características de suas águas, nas características físicas do sistema, nas práticas operacionais e na qualidade da água distribuída (BRASIL, 2011b). O conceito de tratamento integrado, por sua vez, sugere que as barreiras devem ser combinadas de forma a produzirem o efeito esperado. A estratégia de tratamento por objetivos considera que cada fase de tratamento possui uma meta específica de remoção relacionada a algum tipo de risco (GALVIS et al., 1998a).

4.3.1 Estação de tratamento de ciclo completo

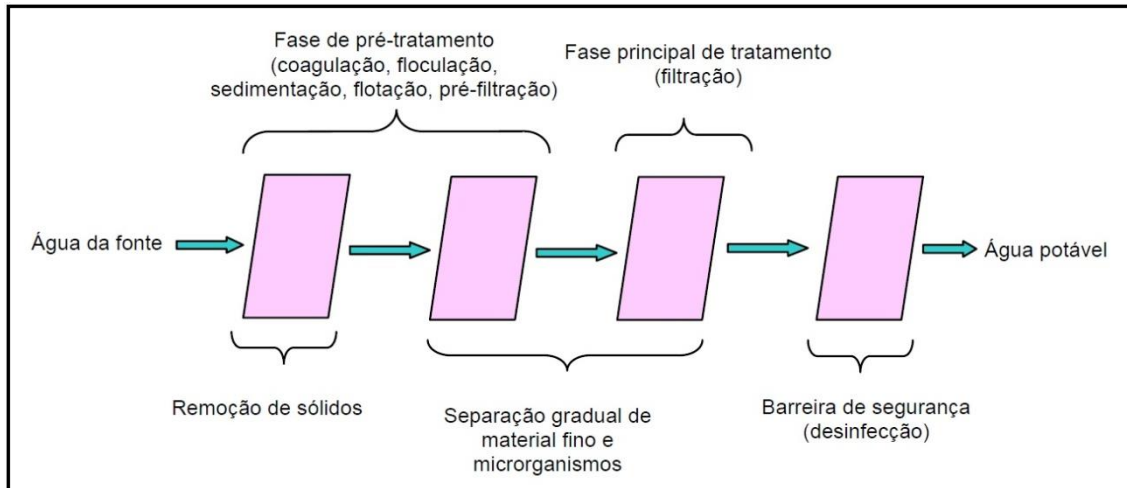
Estações de Tratamento de Água (ETAs) que empregam o tratamento em ciclo completo (que usa os processos e operações de coagulação, floculação, decantação e filtração para a clarificação da água, seguida da desinfecção, e após o tratamento, a possível adição de flúor e estabilização de pH) é efetuado em 69,2% da água distribuída. No Brasil, 3 351 (60,6%) municípios efetuaram a fluoretação (IBGE, 2010).

As estações de tratamento de água que empregam o tratamento completo (ou convencional) utilizam os seguintes processos:

- Coagulação
- Floculação
- Decantação

- Filtração
- Desinfecção

Figura 1 - Esquema de aplicação dos conceitos de múltiplas barreiras, tratamento integrado e tratamento por objetivos.



Fonte: Adaptado de GALVIS et al., (1998b).

4.3.1.1 Coagulação

Coagulação é o processo através do qual os coagulantes são adicionados à água, reduzindo as forças que tendem a manter separadas as partículas em suspensão.

A cor, a turbidez, o sabor, o odor e diversos tipos de contaminantes orgânicos e inorgânicos presentes na água geralmente estão associados a partículas suspensas ou dissolvidas que podem ser de difícil remoção, tornando necessário promover a coagulação química da água, a fim de facilitar a remoção dessas impurezas. Essa remoção é feita posteriormente na decantação e filtração (HELLER & PÁDUA, 2006). Para isso adiciona-se coagulante (reagente químico) à água bruta, que elimina a carga eletrostática negativa da superfície das partículas, o que diminui a repulsão entre elas, e através da agitação rápida que promove o choque entre as partículas, as mesmas se aglutinam. A coagulação pode ser considerada como uma neutralização entre partículas de cargas negativas.

Os coagulantes comumente empregados nas ETAs são o sulfato de alumínio, o cloreto férrico, o sulfato ferroso clorado, o sulfato férrico e o hidróxi-cloreto de alumínio (HCA ou PAC). Devido à grande gama de produtos químicos e à natureza

distinta das águas brutas, é essencial a realização de experimentos em instalação-piloto para definir as condições adequadas de coagulação e mistura rápida (HELLER & PÁDUA, 2006).

A escolha do tipo de coagulante deve ser estabelecida levando-se em consideração o custo, eficiência na desestabilização das partículas presentes na água bruta, a capacidade de atenuar flutuações na qualidade da água sem afetar a eficiência da coagulação, o volume de lodo produzido e influência sobre a duração das carreiras de filtração, sendo desejado que o coagulante possibilite menor perda de carga na unidade de filtração e reduza o risco de ocorrência de transpasse.

Figura 2 - Coaguladores na ETA Pirapama-PE.



Fonte: O autor.

4.3.1.2 Floculação

A floculação é o processo que sucede a mistura rápida e consiste no agrupamento das partículas eletricamente desestabilizadas (coágulos), de modo que formem aglomerados maiores denominados flocos, susceptíveis de remoção nas unidades seguintes. A floculação é favorecida em condições onde haja uma agitação moderada, aumentando assim o contato entre as partículas e os coágulos, formando os flocos.

Figura 3 - Floculadores na ETA Pirapama-PE.



Fonte: O autor.

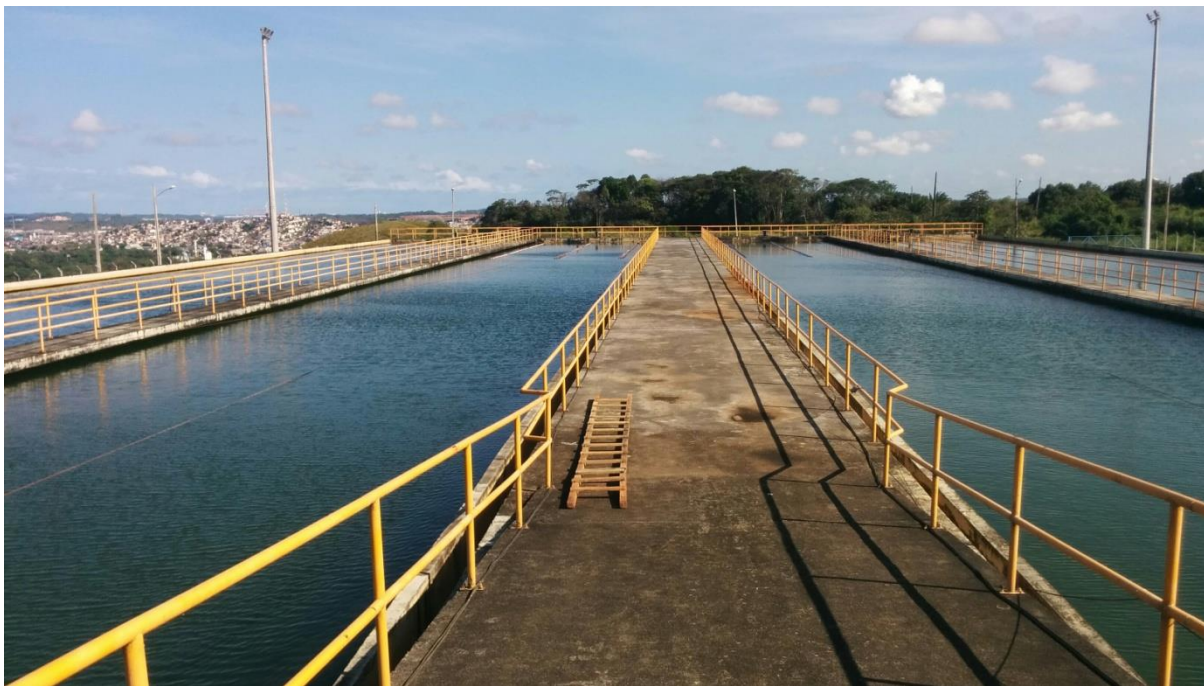
4.3.1.3 Decantação

A decantação é separação das partículas suspensas mais pesadas, que se formaram durante a floculação (flocos) no meio líquido, as quais, pela ação da gravidade apresentam um movimento descendente, depositando-se no fundo dos decantadores. A decantação das partículas suspensas propicia a clarificação da água pela separação das fases sólida e líquida ao mesmo tempo em que forma no fundo do decantador uma camada de lodo que precisa ser removida periodicamente. A remoção do lodo depositado no fundo da unidade pode ser feita mecânica ou manualmente. A frequência dessa operação dependerá da concentração de sólidos suspensos presentes na água. Em todo caso, o intervalo decorrido entre duas remoções de lodo não deve ser longo a ponto de possibilitar a solubilização de metais e outras substâncias prejudiciais à saúde humana que estejam presentes na forma de precipitado no lodo da ETA (JANUÁRIO & FERREIRA, 2007).

A eficiência da unidade de decantação é diminuída quando ocorre mau funcionamento das unidades de coagulação e floculação, o que pode acontecer por problemas operacionais ou quando a água bruta apresenta baixa concentração de partículas, fato que dificulta a coagulação, uma vez que resulta menor taxa de

contato entre as partículas e os produtos coagulantes, limitando o transporte da massa.

Figura 4 - Decantadores na ETA Pirapama-PE.



Fonte: O autor.

4.3.1.4 Filtração

É o processo no qual acontece a remoção de partículas suspensas e coloidais (apresentam pelo menos uma das suas dimensões dentro do intervalo de 1nm a 1 μ m) e dos microorganismos presentes na água que escoam através de um meio filtrante o qual pode ser composto de uma ou de várias camadas de areia de diferentes granulometrias, carvão (antracito) ou camadas alternadas de areia e carvão. É nesta etapa que as partículas mais finas e leves, que não foram retidas nos decantadores são removidas da água. É considerado como um processo final de remoção de impurezas na ETA, portanto, é o principal responsável pela produção de água com qualidade condizente com o padrão de potabilidade (COMUSA, 2016).

Na filtração as impurezas são retidas no meio filtrante, sendo necessária a lavagem do filtro após certo período de tempo, geralmente feita por meio de introdução de água com alta velocidade no sentido contrário ao da filtração. A água

utilizada na lavagem é descartada em cursos d'água, mas também pode ser retornada ao início do processo de tratamento.

Figura 5 - Filtros na ETA Pirapama-PE.



Fonte: O autor.

4.3.1.5 Desinfecção

É o processo em que se tem como objetivo a eliminação ou destruição, mediante a destruição da estrutura celular, interferência no metabolismo com inativação de enzimas, interferência na biossíntese e no crescimento celular dos organismos patogênicos presentes na água, os quais são capazes de produzir doenças. Os agentes desinfetantes podem ser físicos ou químicos. Dentre os físicos podemos destacar a aplicação de calor, irradiação, luz ultravioleta e outros. Já entre os agentes químicos os mais utilizados são os oxidantes de cloro, bromo, iodo, ozônio, permanganato de potássio e peróxido de hidrogênio e os íons metálicos prata e cobre. Para completar o tratamento convencional, podem ser adicionados outros produtos químicos a água como cal, para ajuste final do pH. Finalizado o tratamento também pode ser adicionado o flúor, em teores recomendados pela Organização Mundial de Saúde, para proteção dos dentes (JANUÁRIO & FERREIRA, 2007).

Figura 6 - Tanques de cloro na ETA Pirapama-PE.



Fonte: O autor.

Figura 7 - Tanque de contato na ETA Pirapama-PE.



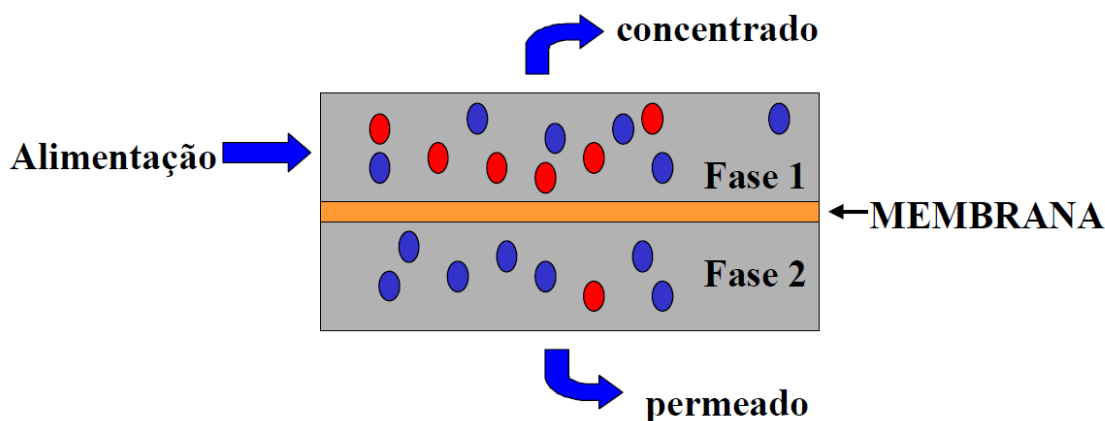
Fonte: O autor.

4.3.2 Osmose Reversa

As membranas constituem, atualmente, a principal inovação tecnológica nos processos de tratamento de água, sendo a primeira grande inovação, desde o desenvolvimento das tecnologias convencionais de tratamento de água no início do século passado (SCHNEIDER & TSUTYA, 2001).

As membranas podem ser definidas como barreiras seletivas ao transporte de fluido, separando duas fases fluidas. Desta forma, nos processos de separação com membranas, a corrente de alimentação é separada em duas: concentrado e permeado, como representado abaixo na Figura 8.

Figura 8 - Fracionamento de uma solução através de membrana.



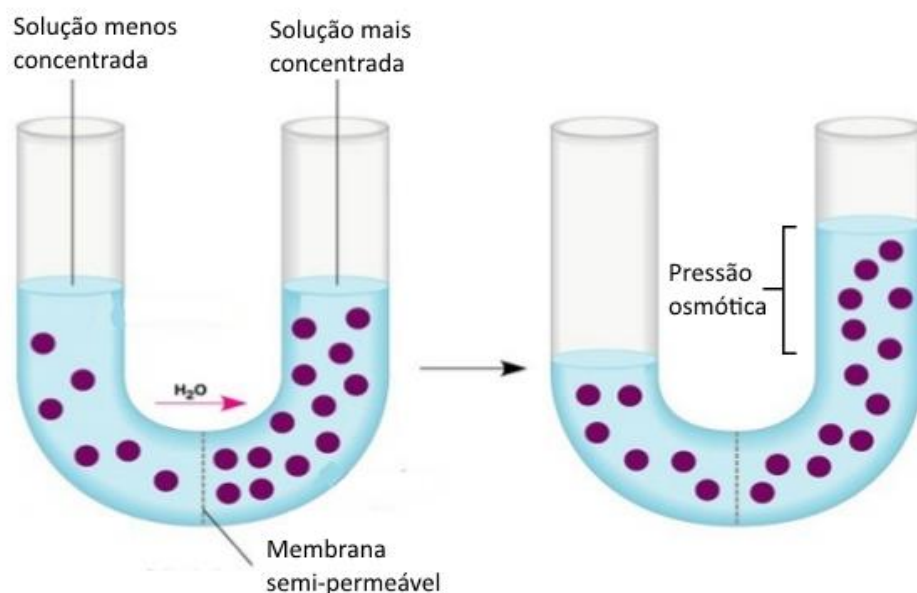
Fonte: OLIVEIRA, (2007).

O fenômeno da osmose é observado quando duas soluções de concentrações diferentes são separadas por uma membrana permeável ao solvente e praticamente impermeável ao soluto. O solvente permeia a membrana no sentido do meio mais diluído para o meio mais concentrado até ser atingido o equilíbrio dinâmico. Nesta condição, a diferença de pressão hidráulica entre o meio mais concentrado e o meio menos concentrado é equivalente à diferença de concentração, mantendo-se um equilíbrio dinâmico para o transporte do solvente através da membrana. (HABERT *et al.*, 2005).

A Osmose Reversa é provocada quando se aplica na solução com maior concentração de solutos uma pressão de valor maior que o de sua pressão osmótica (diferença de altura entre as colunas, Figura 9). Neste caso, para se restabelecer o equilíbrio, o solvente difunde no sentido da solução mais concentrada para a menos

concentrada. Inverte-se assim o sentido do escoamento do solvente que ocorreria na osmose, daí a denominação de Osmose Reversa.

Figura 9 - O fenômeno osmótico.



Fonte: Famille Weben (2017).

Os processos de separação por membranas (PSM) que utilizam gradiente de pressão como força motriz são classificados de acordo com o tamanho das partículas ou moléculas a serem separadas. Quanto menor o tamanho destas espécies, menor deve ser o tamanho de poro da membrana e, conseqüentemente, maior deve ser a diferença de pressão aplicada. No caso das membranas de OR, considera-se que a separação ocorre através do mecanismo de sorção-difusão, ou seja, a membrana não apresenta poros e escoamento convectivo. Entretanto, neste processo, o fluxo do solvente também é proporcional ao gradiente de pressão, pois a pressão é o principal parâmetro que influencia o seu potencial químico (OLIVEIRA, 2007).

Figura 10 - Classificação dos processos de separação por membranas.



Fonte: Adat water services (2017).

Tabela 1 - Processo de separação por diferentes membranas.

Processo	Força motriz	Material retido	Material que permeia
Microfiltração	Pressão (0,5 - 2 atm)	Material em suspensão, Bactérias PM > 500.000 (0,01µm)	Água e sólidos dissolvidos
Ultrafiltração	Pressão (1 - 7 atm)	Colóides, macromoléculas PM > 5000	Água, sais solúveis de baixo peso molecular
Nanofiltração	Pressão (5 - 25 atm)	Moléculas de peso molecular médio 500 < PM < 2000	Água, sais e moléculas de baixo peso molecular
Osmose reversa	Pressão (15 - 80 atm)	Todo material solúvel ou em suspensão	Água

Fonte: MOURA et al. (2008).

A osmose reversa é um processo de separação por membrana empregado quando se deseja reter solutos de baixa massa molar, tais como sais inorgânicos dissolvidos e pequenas moléculas orgânicas (glicose, por exemplo). Quando as membranas apresentam características intermediárias entre as membranas porosas utilizadas em ultrafiltração e as membranas densas empregadas em pervaporação e permeação de gases, são denominadas como membranas de nanofiltração (CARVALHO *et al.*, 2001).

A Osmose Reversa vem se tornando uma tecnologia com bastante penetração no setor industrial e de tratamento de água, cuja aplicação mais comum envolve simplesmente a remoção de contaminantes indesejáveis. No Quadro 5 são apresentadas diversas aplicações atuais e algumas em potencial dos processos de Osmose Reversa.

Quadro 5 - Principais aplicações da OR.

Atividade	Aplicação
Produção de água	Dessalinização de água do mar e água salobra, desmineralização de água para caldeira, água ultrapura, pré-tratamento de água industrial, etc.
Indústria de alimentos	Concentração e clarificação de sucos de frutas, recuperação de aromas, fragrâncias, pectinas e proteínas, concentração de leite e soro de queijo recuperação de produtos e insumos, etc.
Indústria farmacêutica e médica de uso laboratorial	Recuperação de produtos da fermentação, estudos bioquímicos e genéticos, fabricação de medicamentos, análises químicas, preparação de meios para cultivo de tecidos, produção de água pura esterilizada, biorreator a membrana, etc.
Indústria de biotecnologia	Separação, concentração e produção de aminoácidos, recuperação de enzimas, produção de antibióticos, etc.

Fonte: CARVALHO (2003).

Quadro 5 - Principais aplicações da OR (continuação).

Tratamento de efluentes oleosos	Tratamento de águas residuais: da indústria petroquímica, do processamento de petróleo, do processamento de gorduras vegetais e animais emulsificadas, etc.
Indústria do açúcar	Tratamento de águas residuais: da indústria petroquímica, do processamento de petróleo, do processamento de gorduras vegetais e animais emulsificadas, etc.
Indústria automobilística	Reuso de água e recuperação de produtos químicos.
Tratamento de esgoto	Desnitrificação, desfosforização e dessalinização de esgotos para recuperação e reciclo.
Indústria de couro	Tratamento de efluentes aquosos.
Indústria de papel e celulose	Recuperação de lignina.
Indústria eletrônica	Produção de água ultrapura para a fabricação de condutores e para lavagem de microcircuitos.

Fonte: CARVALHO (2003).

O sistema típico de tratamento de água utilizando a osmose reversa consiste de:

- Captação;
- Pré-Tratamento;
- Bomba de alta pressão;
- Conjunto de membranas;
- Remineralização e ajuste de pH;
- Desinfecção.

Figura 11 - Estação de tratamento de Osmose Reversa.



Fonte: PROLAGOS (2017).

4.3.2.1 Captação

A água de alimentação do sistema é a matéria principal para produção de água potável em sistemas de osmose reversa e sua qualidade depende diretamente do tipo de fonte hídrica que alimenta o sistema. A composição físico-química da água subterrânea apresenta menor índice de variação, durante as estações climáticas, do que a água superficial. As águas superficiais (rios, lagos e do mar) são caracterizadas pelo nível de sólidos suspensos, atividades microbiológicas e variações climáticas. Em função destas observações, antes de projetar um sistema de tratamento por osmose reversa, se faz necessário obter uma boa análise da água de alimentação (MOURA et al., 2008).

Figura 12 - Captação de água do mar.



Fonte: GRUNDFOS (2017).

4.3.2.2 Pré-Tratamento

Para uma maior vida útil dos elementos de membranas, é preciso conhecer as qualidades físico-químicas e bacteriológicas da água, obtendo-se os valores dos indicadores de incrustações, é possível determinar qual o melhor tratamento da água de alimentação. O pré-tratamento tem o objetivo de reduzir o potencial de incrustações na água de alimentação do sistema, devido à remoção de partículas micropoluentes e microrganismos, bem como a prevenção da formação de incrustação inorgânica, melhorando assim a qualidade da água de alimentação num nível que resultará uma maior segurança de operação do sistema. Geralmente utilizam-se soluções de ácido clorídrico com $\text{pH} \approx 3$, com a finalidade de combater as incrustações que se depositam sobre as membranas, (o tipo de ácido para a solução depende do grau e do tipo de incrustação), principalmente as formadas a partir de sílica (MOURA *et al.*, 2008).

Águas de subsolo estão geralmente biologicamente estabilizadas, ou seja, possuem poucas cargas de microrganismos e baixa disponibilidade de compostos orgânicos utilizados por estes microrganismos. Estas águas podem ser bombeadas para o sistema de osmose reversa sem pré-tratamento, mas para garantir a operação segura do sistema pode-se fazer adição de anti-incrustantes, correção de

pH e pré-filtração para remover partículas de 1-5 µm de diâmetro (MOURA et al., 2008).

A dessalinização de águas de superfície por OR depende do pré-tratamento da água de alimentação para remover microrganismos e reduzir a quantidade de matéria orgânica disponível para o crescimento destes organismos nos canais de alimentação no interior dos módulos de membranas.

Abaixo é apresentado um quadro com os principais tipos de incrustantes e seus respectivos tratamentos indicados.

Quadro 6 - Principais tipos de incrustantes e seus pré-tratamentos.

Tipos de incrustantes	Pré-tratamentos
Substâncias inorgânicas solúveis	- Troca iônica - Adição de ácido - Adição de agentes quelantes - Adição de base/filtração - Sedimentação
Substâncias orgânicas (ácidos húmico e fúlvico)	- Ultrafiltração e microfiltração - Coagulação/Sedimentação
Colóides (sílica, hidróxidos, óxidos)	- Adição de hidróxidos de Fe(III), Al(III) e Si(IV) - Ultrafiltração e microfiltração
Bactérias, algas e fungos	- Filtração - Surfactantes - Cloração

Fonte: WILBERT et al. (1998).

4.3.2.3 Bomba de alta pressão

A bomba de alta pressão é o componente do sistema que gera a pressão necessária para as membranas produzirem uma vazão de água requerida com certa qualidade. Usualmente, as bombas são do tipo: estágio único, centrífuga de alta velocidade, pistão com deslocamento positivo, centrífuga com multi-estágios. As pressões típicas para a água salobra variam de 225 a 376 psi (15,5 a 26 bar ou 1,6 a 2,6 MPa). Em caso de água do mar, elas variam de 800 a 1.180 psi (55 a 81,5 bar ou 6 a 8 MPa).

Figura 13 - Bomba de alta pressão.



Fonte: NORTHERN (2017).

4.3.2.4 Conjunto de membranas

O conjunto de membranas consiste em recipientes de alta pressão que contém as membranas que permite que a água de alimentação passe sob pressão. As membranas têm que ser resistentes o suficiente para suportarem a pressão necessária. Os cartuchos de membranas espirais são os mais utilizados em aplicações de osmose reversa, normalmente são do tipo TFC (Thin Film Composite) fabricados em poliamida, que consistem de uma camada suporte (porosa) e uma camada densa de película fina trançada, formada no local sobre a camada suporte, normalmente feita em polisulfona (FILMTEC, 2003).

No caso do uso da osmose reversa para a dessalinização da água só uma parcela da água de alimentação bombeada pelas membranas chega ao outro lado da mesma com o sal removido. A parte concentrada que resta passa pelo "lado salino" da membrana para que a solução salina concentrada seja despejada. A porcentagem de água dessalinizada produzida é conhecida como taxa de recuperação. Essa taxa varia de acordo com a salinidade da água de alimentação e os parâmetros do sistema: tipicamente 20% para sistemas pequenos de tratamento

de água do mar, 40% - 50% para sistemas maiores de tratamento de água do mar e 80% - 85% para tratamento de água salobra (PURETEC, 2017).

Figura 14 - Conjunto de membranas.



Fonte: ACQUAVIT (2017).

4.3.2.5 Remineralização e ajuste de pH

Ácido ou soda é adicionado para ajustar o pH entre 6 e 9,5 a fim de atender os padrões de potabilidade, maior eficiência da desinfecção e para prevenir a corrosão em tubulações e equipamentos (Ministério da Saúde, 2011).

Por conta da constituição das membranas, a osmose reversa não só remove os contaminantes prejudiciais à saúde, mas também pode remover muitos dos minerais necessários para os seres humanos. Por isso a remineralização pode ser necessária para repor os minerais removidos pelo processo de osmose reversa. Apesar de que esse processo tem se provado ser demasiadamente custoso e não muito conveniente se for feito para atender as necessidades minerais humanas (KOZISEK, 2011).

4.3.2.6 Desinfecção

Lâmpada ultravioleta (U.V.) bem como a ozonização e a adição de cloro são medidas que podem ser tomadas para desinfecção da água, pois pode haver alguns microorganismos que possam ter escapado da filtração da membrana de Osmose Reversa (VICTOR et al., 2015).

Figura 15 - Tratamento UV.



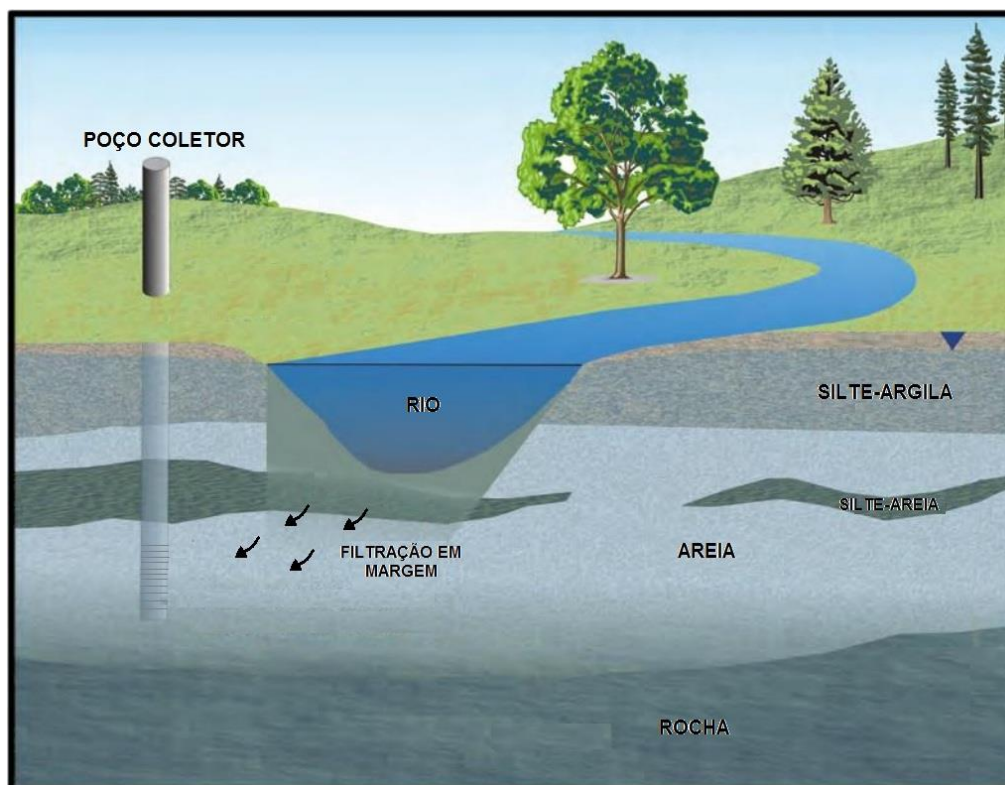
Fonte: Brisanzia (2017).

4.3.3 Filtração em Margem

Em regiões úmidas, a água do rio percola naturalmente pelo solo em direção aos aquíferos (que são camadas de areia e pedregulho que contém água subterrânea). Em regiões áridas, a maioria dos rios perde vazão, e a água que percola passa pelo solo e material do aquífero até atingir a água. Durante esses processos de percolação, contaminantes em potencial presentes na água do rio são filtrados e atenuados. Se não houver outros contaminantes presentes no aquífero ou se esses contaminantes estiverem presentes em uma concentração menor em relação ao rio, a qualidade da água do aquífero pode ser superior do que àquela encontrada no rio (CABRAL *et al.*, 2010).

Na filtração em margem, os poços de produção (que são posicionados próximos a margem do rio) bombeiam grandes quantidades de água de forma contínua. O bombeamento cria uma pressão diferencial entre o rio e o aquífero, o qual induz a água do rio a fluir, passando pelos poros presentes no solo, na direção dos poços (RAY *et al.*, 2002).

Figura 16 - Esquema de Filtração em Margem.



Fonte: WITTMAN & HYDRO (2013).

A água que chega ao poço é, na maioria das vezes, uma mistura entre as águas infiltradas recentemente através das margens e a do lençol freático. A proporção dessa mistura dependerá principalmente da distância do poço até a margem e de suas características como: vazão bombeada, condições hidrogeológicas locais, entre outras (RAY *et al.*, 2002).

Com o uso da técnica de filtração em margem existe a possibilidade da remoção eficiente da turbidez, microorganismos, matéria orgânica natural, pesticidas, herbicidas, compostos químicos inorgânicos dissolvidos e patogênicos (SAHOO *et al.*, 2005).

Existe uma grande quantidade de variáveis para que a qualidade da água produzida seja melhorada, dentre as quais podemos destacar: características hidráulicas e composição do material do aquífero, qualidade da água superficial, velocidade de filtração, condutividade hidráulica, distância dos poços ao corpo d'água, vazão de bombeamento, diluição com as águas subterrâneas, temperatura da água superficial e características dos sedimentos da interface aquífera e água superficial (RAY *et al.*, 2002).

Dependendo do uso ao qual a água vai ser destinada e dos graus de filtração e atenuação dos contaminantes, tratamentos adicionais podem ser necessários à água bombeada antes de ser feita a sua distribuição. No mínimo, a filtração em margem funciona como um pré-tratamento para a produção de água potável e, em alguns casos, pode servir como tratamento final logo antes da desinfecção.

4.3.3.1 Processos que ocorrem durante a Filtração em Margem

Para a filtração em margem ser aplicada em determinado local, é necessário que diversos parâmetros sejam conhecidos, pois os mesmos influenciam o desempenho e aproveitamento da técnica: disponibilidade (volume) de água do rio que será induzida para o aquífero, qualidade da água do rio, velocidade do fluxo e características sedimentares do leito do rio, características hidráulicas do meio poroso (caminho rio-aquífero), sazonalidade do fluxo do rio (HUNT *et al.*, 2002).

A interface entre a água superficial e água subterrânea dentro do aquífero aluvial é uma zona de transição dinâmica, normalmente caracterizada pelos gradientes de luz, temperatura, pH, potencial redox, oxigênio e carbono orgânico, que controla a qualidade da filtração em margem (TUFENKJI *et al.*, 2002).

As propriedades dos sedimentos: variação e distribuição do tamanho dos grãos, permeabilidade e porosidade, assim como o regime de bombeamento, controlam a velocidade de infiltração da água. Também é observado que a distribuição, tanto sazonal quanto espacial, de matéria orgânica suspensa na água do rio influencia a drenança, pois a mesma obstrui os sedimentos do leito do rio (HUNT *et al.*, 2002).

Outro fator que afeta a velocidade de infiltração na interface de água superficial / água subterrânea é a colmatação. A colmatação pode ocorrer por conta de processos físicos, químicos e biológicos, podendo ser acelerada pela indução da água superficial para o meio poroso (bombeamento). Os processos físicos compreendem a acumulação de sólidos suspensos, orgânicos e inorgânicos. Os processos biológicos referem-se à acumulação de flocos de algas e bactérias na água e na superfície da interface manancial / meio filtrante. Os processos químicos incluem a precipitação de carbonato de cálcio, gipsita, fosfatos e outros compostos químicos sobre o solo e dentro dele (BOUWER, 2002). Contudo, esse efeito pode estar em constante modificação, dependendo da velocidade de escoamento do rio ou dos efeitos de cheia.

A retenção de partículas finas (< 2 mm) no leito do rio ou a obstrução dos sedimentos das margens do rio, principalmente se o rio estiver em condições de baixo fluxo, pode fazer com que ocorra uma redução da permeabilidade na interface de interação água superficial / água subterrânea. A obstrução das margens do corpo d'água pode aumentar a eficiência da filtração natural, porém a redução na permeabilidade pode reduzir de maneira significativa a produtividade da zona de captação do poço (CABRAL *et al.*, 2010).

Esses fatores que influenciam os processos da filtração em margem variam com as características locais, sendo necessário, portanto, que o local em que se deseja implantar a técnica de filtração em margem seja devidamente estudado e monitorado previamente para que sejam atingidos os resultados esperados. Os elementos de controle dos sistemas de FM com relação à sua sustentabilidade são: condutância da interface; transmissividade do aquífero e dinâmica do filtro do poço (HUBBS, 2004).

Para o entendimento da interação complexa que há entre água subterrânea e superficial em relação aos fatores de clima, relevo, geologia, e biota, é necessário

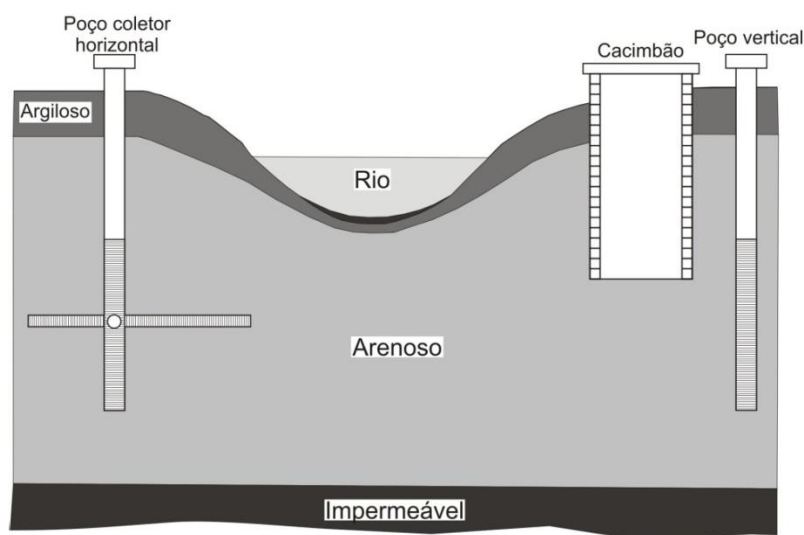
uma compreensão estruturada que vem sendo chamado de hidrogeoecológica. Todos estes aspectos devem ser avaliados num conjunto em sua sustentabilidade e suscetibilidade à contaminação, para um gerenciamento efetivo dos recursos hídricos.

4.3.3.2 Tipos de poços

Historicamente, três tipos principais de poços têm sido usados para Filtração em Margem desde que a tecnologia foi primeiro estabelecida nos anos 1800 (RAY et al., 2002). Eles incluem:

- Poço coletor horizontal: Um coletor circular vertical é cravado no solo e dele derivam coletores laterais.
- Poço vertical: Um poço tubular é escavado verticalmente no solo.
- Cacimbão: Um poço raso, de grande diâmetro que, em grande parte dos casos, é cavado manualmente no solo. Tipicamente, o cacimbão é construído para o abastecimento residencial individual.

Figura 17 - Tipos de poços utilizados na Filtração em Margem.



Fonte: CABRAL et al. (2010).

4.3.3.3 Qualidade da água

Para o controle da qualidade da água anterior, nas águas superficiais originalmente, e posterior, na produção de água potável, alguns parâmetros precisam ser analisados e acompanhados durante o processo de tratamento dos contaminantes físicos, químicos e biológicos (RAY et al., 2002).

Wang et al. (1995), realizaram estudos em uma estação de tratamento d'água em Louisville. Foi analisada a remoção de patogênicos, partículas, turbidez, matéria orgânica natural, subprodutos de desinfecção, e pesticidas. Eles também compararam a Filtração em Margem com os métodos convencionais de tratamento d'água da própria estação. Nessa análise foi mostrado que a Filtração em Margem é eficiente para remoção da matéria orgânica e pesticidas. Remoções de partículas superiores a 99.9% foram alcançados com a Filtração em Margem e 99% de remoção pelos métodos convencionais de tratamento.

4.3.3.4 Experiências práticas

Cabral et al. (2010) avaliaram a eficiência de um poço coletor escavado na bacia do rio Beberibe (Pernambuco) utilizando a técnica de Filtração em Margem. O poço de produção possui as seguintes características: profundidade de 15 metros; diâmetro de perfuração 12 ¼ polegadas; método de perfuração rotativa com circulação direta; uma seção de filtro, na profundidade de 6 a 12 metros; diâmetro do poço de 6 polegadas; sendo utilizado tubos de PVC do tipo geomecânico. Após três meses de bombeamento contínuo a vazão permaneceu em torno de 12,5 m³/h (3,47 L/s) e foi observada uma melhora bastante significativa na qualidade da água bombeada do poço. A tabela abaixo mostra os resultados obtidos.

Tabela 2 - Resultados obtidos por Cabral et al. (2010).

Parâmetros	Água subterrânea	Rio	Poço de FM
Coliformes Totais (NMP/100mL)	ND	> 160.000	< 2,0
Escherichia Coli (NMP/100mL)	ND	> 160.000	< 2,0
DBO 5,20 (mg/L)	2,8	3,27	0,81

Tabela 2 - Resultados obtidos por Cabral et al. (2010) (continuação).

DQO (mg/L)	10	11	3
Amônia (mg/L)	0,29	0,29	0,41
Nitrato (mg/L)	0,31	0,88	0,003
Nitrito (mg/L)	0,006	5,3	ND
Ferro (mg/L)	0,23	1,59	0,05
Manganês (mg/L)	0,06	0,01	0,02
Cobre (mg/L)	ND	0,01	ND
Turbidez (uT)	1,32	14,3	0,75
Condutividade Elétrica (microS/cm)	158,8	219	226

Fonte: CABRAL et al. (2010).

Nesse experimento foi observado melhora em todos os parâmetros analisados exceto condutividade elétrica, indicando que o método não é eficiente na redução de sais presentes na água.

Campos (2012) analisou amostras de água de um poço que foi construído a uma distância de 20 metros da margem da lagoa do Peri (Santa Catarina) e foi aberto com diâmetro de 100 mm e profundidade 12 m, revestido com tubo de PVC de diâmetro 50 mm, com ranhuras apenas nos últimos 2m. A vazão na data do experimento era de 33 m³/d (0,38 L/s). A água filtrada em margem apresentou remoção da turbidez em torno de 97%. Percebeu-se, também, o aumento da condutividade, alcalinidade e dureza na água filtrada em margem.

4.3.4 Desinfecção solar

Também conhecido como SODIS (*solar disinfection*) a desinfecção da água com o uso da radiação do sol é um método alternativo de tratamento de água que é extremamente simples e destrói os microorganismos patogênicos (vírus, bactérias, protozoários e fungos) presentes na água pelo efeito sinérgico da luz solar e da elevação da temperatura. Este método vem sendo bastante utilizado em pequenas comunidades devido, principalmente a sua praticidade, baixo custo e pelo fato desse método não gerar resíduos.

Figura 18 - Plataforma de desinfecção solar.



Fonte: [Ciemat \(2017\)](#).

As primeiras experiências que constataram a eficácia do efeito da luz solar sobre bactérias foram realizadas no final do século XIX por Dr. Arthur Downes e Mr. T. Blunt, que em 1877 submeteram duas séries de tubos de cultura à radiação solar. Uma série de tubos foi envolvida por chumbo, que prevenia a ação da luz, mas não do calor, a outra série de tubos foi deixada sem revestimento, e foi descoberto que

somente nas que estavam revestidas houve um crescimento de microorganismos, provando assim que era a ação da luz e não do calor que possuía efeito bactericida.

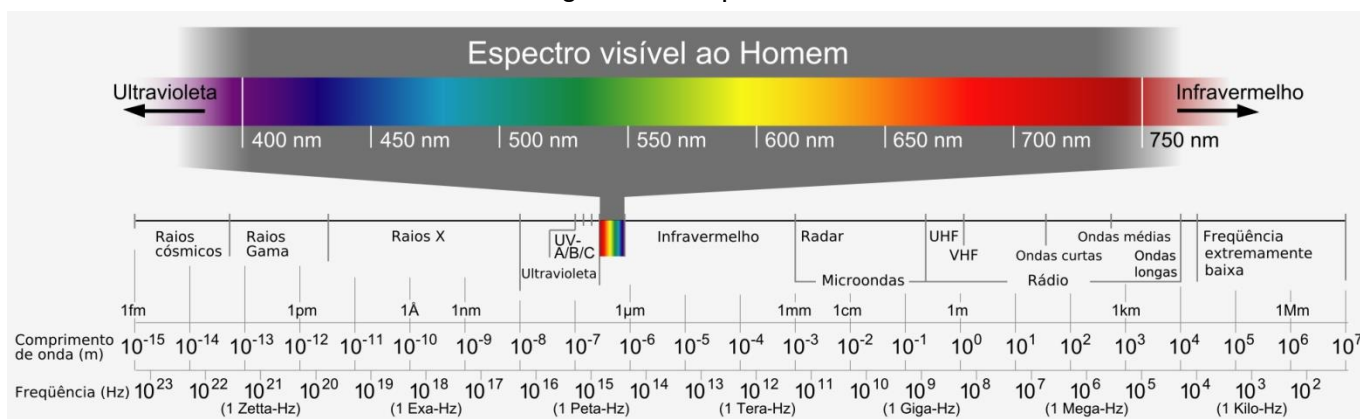
Contudo, somente no final do século XX, em Beirute, é que a tecnologia da desinfecção solar (SODIS) foi estudada e desenvolvida como uma solução extremamente barata para a desinfecção da água para consumo humano. Os resultados obtidos mostraram que é possível diminuir em três logaritmos (log) a concentração de *Escherichia coli* com apenas 75 minutos de exposição à radiação solar e que os maiores efeitos germicidas são observados na amplitude de onda correspondente aos raios UV (ACRA *et al.*, 1984).

A radiação solar que atinge o topo da atmosfera terrestre provém da região da fotosfera solar, uma camada tênue de plasma com aproximadamente 300 km de espessura e com uma temperatura superficial da ordem de 5800 K (VIELA *et al.*, 2005).

O sol emite energia na forma de radiação eletromagnética e a técnica SODIS se utiliza de diferentes bandas do espectro eletromagnético para destruir os patógenos.

Em termos de comprimentos de onda, a radiação solar ocupa a faixa espectral de 100 nm a 3000 nm (3 μ m), tendo uma máxima densidade espectral em torno dos 550 nm (VIELA *et al.*, 2005). Na figura 19 se observa a divisão do espectro eletromagnético.

Figura 19 - Espectro de luz.



Fonte: Wikipédia (2017).

No espectro eletromagnético a luz ultravioleta pode ser dividida de várias formas. A norma ISO sobre a determinação de irradiância solar (ISO, 2007) descreve as seguintes faixas:

Tabela 3 - Irradiância solar.

Nome	Abreviação	Faixa de comprimento de onda
Ultravioleta	UV	100 nm - 400 nm
Ultravioleta de vácuo	VUV	10 nm - 200 nm
Ultravioleta extremo	EUV	10 nm - 121 nm
Ultravioleta longínquo	FUV	122 nm - 200 nm
Ultravioleta C	UVC	100 nm - 280 nm
Ultravioleta médio	MUV	200 nm - 300 nm
Ultravioleta B	UVB	280 nm - 315 nm
Ultravioleta próximo	NUV	300 nm - 400 nm
Ultravioleta A	UVA	315 nm - 400 nm

Fonte: ISO (2007).

Para os seres humanos a radiação UVB é a mais perigosa pois causa eritema, que é a queimadura de pele, ela também lesa as células epiteliais, altera o DNA e libera substâncias orgânicas que promovem a inflamação e dilatação dos vasos (VIEIRA *et al.*, 2005). Entretanto, para os microrganismos a radiação UV-C é a mais letal, porque é na faixa de onda de 260nm que ocorre a absorção máxima de radiação por seu material genético.

A camada de ozônio na atmosfera terrestre absorve grande parte da radiação UVC e UVB, permitindo que apenas a radiação UVA atinja a superfície em quantidades significativas (VILELA *et al.*, 2005). Portanto, o efeito bactericida da radiação solar está associado principalmente à radiação UVA (315 a 400nm), como demonstrado nos trabalhos de Acra *et al.* (1984).

Segundo Bitton (2011) a inativação dos patógenos pela desinfecção solar ocorre devido ao sinergismo entre a radiação UV-A e a temperatura elevada da água. Temperaturas entre 20 e 40°C não afetam a inativação de bactérias por radiação UV, mas temperaturas iguais ou superiores a 45°C aceleram o processo de desinfecção solar (MALATO *et al.*, 2009). Além disso, segundo Ubomba-Jaswa *et al.* (2010) quando a temperatura da água excede 45°C, é possível inativar completamente bactérias em águas com elevada turbidez (100 NTU).

4.3.4.1 Processos que ocorrem na desinfecção solar

Diversas variáveis, tais como sólidos suspensos totais (SST), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), dureza, pH, temperatura, variações sazonais de incidência luminosa e tipo de microrganismo, podem alterar a eficiência do processo de desinfecção UV (KEHOE et al., 2004).

Os SST alteram a eficiência do processo porque protegem os microrganismos, uma vez que impedem a penetração e absorvem a radiação incidente. Também, a DBO quando composta de grande quantidade de matéria orgânica, pode reduzir a eficiência do processo, pois materiais orgânicos têm elevada absorbância de raios UV. A dureza e o pH afetam a solubilidade de metais que podem absorver a radiação UV.

A radiação solar incidente sobre a superfície terrestre sofre variações sazonais. A intensidade dessas variações depende diretamente da latitude local e é responsável pelas características do clima local. Portanto, as mudanças na intensidade de incidência de radiação solar afetam diretamente a eficiência da desinfecção solar e deve ser considerada antes da utilização da tecnologia SODIS. Além disso, a radiação solar também está sujeita as alterações diárias de incidência devido às condições de nebulosidade.

Por fim, outra variável importante é o tipo de microrganismo presente no efluente, pois a desinfecção UV é muito eficiente na remoção de bactérias e vírus, mas os cistos de protozoários e ovos de helmintos têm mecanismos de defesa natural que os tornam resistentes à radiação UV (KEHOE et al., 2004).

A tecnologia de desinfecção solar para água de consumo já é utilizada por mais de 2 milhões de pessoas em 33 países e os resultados obtidos pela adoção da desinfecção solar nesses locais mostra que é possível reduzir de maneira bastante significativa os casos de diarreia. É estimado que a razão custo-benefício da adoção desta técnica pode chegar até a razão de 1:49, ou seja, cada dólar investido na SODIS pode gerar uma economia de até 49 dólares no setor de saúde (MEIERHOFER & LANDOLT, 2008).

Figura 20 - Desinfecção solar sendo usada na África.



Fonte: SHTF (2017).

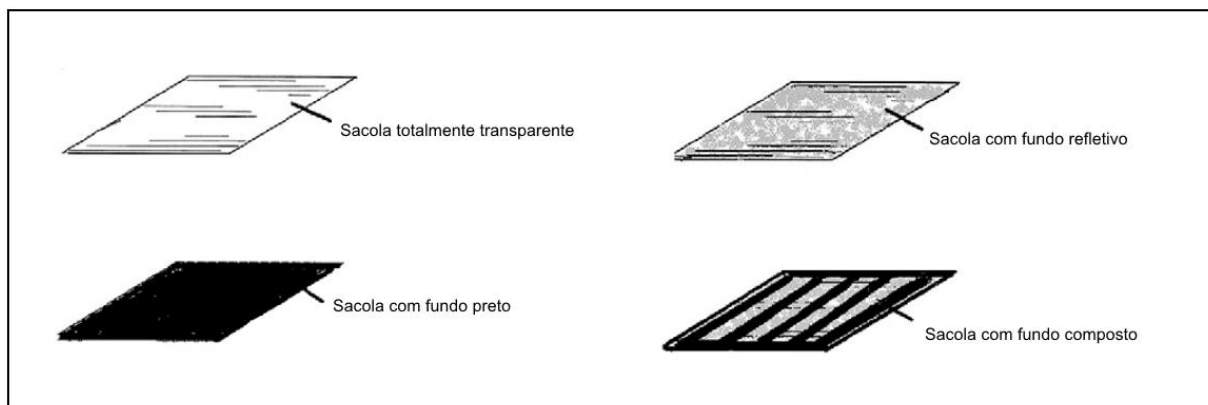
4.3.4.2 Experiências práticas

Sciacca et al. (2010) avaliaram a eficiência da desinfecção solar fazendo o uso de garrafas PET com e sem adição de peróxido de hidrogênio (H_2O_2), utilizando como indicadores dois tipos de bactéria: Coliformes totais e *Salmonella* sp. Também foi avaliado o recrescimento das bactérias nas 72 horas após o processo de desinfecção. Nas garrafas que foram expostas à radiação solar sem a adição de H_2O_2 as populações de Coliformes totais e *Salmonella* sp. sofreram inativação após 3 e 4 horas de tempo de exposição, respectivamente. Porém a população de *Salmonella* sp. apresentou recrescimento nas horas seguintes ao tratamento. Já nas amostras com a adição de H_2O_2 a população de bactérias tanto de *E. coli*. quanto de *Salmonella* sp. sofreram inativação em 30 minutos e não apresentaram recrescimento nas 72 horas seguintes.

Dunlop et al. (2011) avaliaram em condições laboratoriais o uso de sacolas plásticas de polietileno como recipiente para a desinfecção solar. Quando utilizadas sacolas inteiramente transparentes se apresentou 7 log de inativação de *E. coli* com 150 minutos de exposição. Quando foram utilizadas sacolas com fundo preto, fundo refletivo e composto (preto e refletivo) foi necessário apenas 120 minutos de exposição para atingir 7 log de inativação de *E. coli*. No mesmo experimento os autores compararam a eficiência do uso de sacolas transparentes com os de garrafa

PET para a SODIS em condições de campo. Em 240 minutos o conteúdo das sacolas apresentou inativação de 6,5 log enquanto o da garrafa apresentou 3,5 log de inativação de *E. coli*.

Figura 21 - Esquema de sacolas de polietileno usadas no experimento.



Fonte: DUNLOP et al. (2011).

Queluz (2013) avaliou a eficiência de um sistema de desinfecção solar (Figura 22) composto por três reatores ao nível do solo e à base de concreto. Os reatores tinham a forma de tronco cônico invertido e dimensões idênticas. No primeiro reator, a água foi tratada em contato direto com o concreto que formava o mesmo. No segundo reator foi aplicada tinta plástica branca. E o terceiro foi aplicada tinta plástica preta. Nesse experimento foi constatado que as diferenças entre as temperaturas do reator preto e do reator branco foram muito pequenas a diferença máxima foi de 3,5°C e a média entre as diferenças foi de 2,06 °C. A temperatura máxima ocorreu no reator preto em uma das baterias incompletas do experimento e foi igual a 36,2°C, valor inferior aos 45°C sugeridos por Malato et al. (2009). Sendo assim, o uso do sistema em sinergismo com a temperatura pode ficar restrito ao verão.

Os resultados obtidos por Queluz (2013) mostram que a 5% de probabilidade não há diferença significativa entre os modelos. Indicando, portanto, que o uso de diferentes colorações nos reatores solares não alterou a eficiência da desinfecção solar. Também foi constatado que para todos os meses, o tempo de exposição necessário para desinfecção é menor nas menores concentrações de SST e que para todas as concentrações, o mês de junho (mês com menor índice de radiação) e o mês de novembro (mês com maior índice de radiação) apresentam,

respectivamente, o maior e o menor tempo de exposição para a inativação de *Escherichia coli*.

Figura 22 - Reatores usados no experimento.



Fonte: QUELUZ (2013).

5 COMPARATIVO ENTRE OS MÉTODOS

Para a escolha do método mais eficiente de tratamento de água alguns pressupostos precisam ser feitos:

- Os mananciais superficiais e subterrâneos possuem vazão constante e necessária para atender a demanda da população;
- A qualidade da água bruta na fonte de abastecimento é constante durante todo o período em que ocorrerá o abastecimento;
- Não existe contaminação da água durante a captação e transporte da água.

A escolha do método de tratamento leva em consideração quatro fatores:

- Poluentes que as técnicas conseguem remover;
- Custos de implantação e operação dos métodos;
- Número de pessoas que serão abastecidas;
- Local em que os métodos serão implantados.

5.1 Poluentes que os métodos são capazes de remover

Cada um dos métodos estudados e descritos nesse projeto possui particularidades em relação aos contaminantes presentes na água que os mesmos conseguem retirar, sendo de extrema importância, pois vários desses contaminantes apresentam riscos à saúde da população e à infraestrutura tanto das cidades quanto das residências dessas pessoas, tendo a água tratada que estar com as características (físicas, químicas e biológicas) de acordo com a Portaria MS nº 2914/2011 (BRASIL, 2011).

A Portaria MS nº 2914/2011 (BRASIL, 2011) estabelece o padrão de potabilidade através do limite máximo para diversas substâncias que estão presentes na água. Contudo, o presente trabalho só irá levar em consideração os contaminantes mais comuns, pois a quantidade de substâncias abordadas na Portaria é muito elevada fazendo com que haja dificuldades que restringem o seu monitoramento. No entanto, tem-se a consciência da importância sanitária desses

contaminantes, recomendando-se assim que os mesmos sejam quantificados antes de se implantar algum dos métodos de tratamento de água aqui abordados.

5.1.1 Ciclo Completo

Paz (2007) verificou, fazendo uma análise de 7 estações de tratamento de água, que o sistema de tratamento por ciclo completo (antes da desinfecção) apresentou uma remoção média de coliformes totais de 99,6% na água bruta (que possuía valores de 1541 a 24192 NMP/100mL). E em relação à *Escherichia coli* a remoção atingiu 98,9% (com afluentes que possuíam de 85 a 2187 NMP/100mL). A maior quantidade registrada de coliformes totais e *Escherichia coli* foi inferior a 100NMP/100mL na água após a filtração (fato que garante a ausência de coliformes totais e *Escherichia coli* na água de consumo após eficiente desinfecção na ETA). Ainda no mesmo estudo foi verificado que o tratamento de ciclo completo pode apresentar, em média, 91,6% de remoção de ferro total (água bruta com teores na faixa de 0,34 a 1,4 mg/L), atingindo valores em torno de 0,05mg/L no efluente e 50,5% de redução de manganês total (água bruta com teores na faixa de 0,03 a 0,2 mg/L), atingindo valores em torno de 0,04 mg/L no efluente.

Braga (2014) verificou em uma estação de tratamento de água por ciclo completo que 26% das amostras retiradas do efluente da ETA possuíam turbidez inferior a 0,50 uT e que 99% das amostras possuíam turbidez inferior a 1,00 uT, ou seja, apenas 1% das amostras estavam impróprias para consumo com relação à turbidez.

Rocha (2015) analisou o desempenho do tratamento de água por ciclo completo na remoção do herbicida Diuron e verificou que o tratamento por ciclo completo não removeu o herbicida, de acordo com o padrão brasileiro de potabilidade, para as concentrações de 0,50; 2,00 e 5,00 mg/L da água de estudo analisada.

Em relação à remoção de sais presentes na água o tratamento por ciclo completo não possui eficiência, principalmente pelo tamanho das partículas de sal e pelas ligações químicas que o mesmo faz com a água.

5.1.2 Osmose Reversa

Utilizando o pré-tratamento adequado, um sistema de tratamento de água por osmose reversa remove partículas com tamanho menor que 0,1 nanômetro (Figura 10), logo, o sistema usando osmose reversa tem a capacidade de remover qualquer contaminante presente na água.

Os níveis de remoção de contaminantes por osmose reversa podem chegar a ser de 98% para manganês e ferro. Já para coliformes totais e *Escherichia coli* a remoção é total, assim como para a turbidez.

A osmose reversa também é eficiente na remoção de pesticidas, bem como para a remoção de sais (dessalinização) da água.

5.1.3 Filtração em Margem

Cabral et al. (2010) realizaram uma pesquisa realizada na bacia do rio Beberibe, em Pernambuco, e verificaram que a água tratada por filtração em margem apresentou uma grande remoção dos contaminantes presentes na mesma, apresentando valores inferiores a 2,0 NMP/100mL para coliformes totais e para *Escherichia coli*. Já em relação a ferro total o valor foi de 0,05 mg/L e para manganês total 0,02 mg/L. A mesma pesquisa também indicou valores para a turbidez de 0,75 uT.

Wang et al. (1995) realizaram estudos em uma estação de tratamento d'água em Louisville, a qual capta do aquífero aluvial que tem interação direta com o rio Ohio e mostraram que a filtração em margem é eficiente na remoção de pesticidas.

O sistema de Filtração em Margem não reduz a salinidade da água durante a passagem no solo, onde pelo contrário, absorve os íons presentes no solo durante a sua passagem e por isso a sua concentração aumenta (CABRAL et al., 2011).

5.1.4 Desinfecção Solar

Pelo fato de atuar por meio de radiação e temperatura, a desinfecção solar não possui eficiência na remoção de ferro, manganês, turbidez, pesticidas e sais.

Sciacca et al. (2010) verificaram a eficiência da desinfecção solar na inativação de coliformes totais presentes na água após um tempo de exposição ao sol entre 3 e 4 horas.

Dunlop et al. (2011) verificaram a inativação de 7 log de *Escherichia coli* após um tempo de exposição ao sol entre 120 e 150 minutos.

5.2 Custos de implantação e operação dos métodos

Nas ETAs, os custos de transformar água bruta em água potável podem ser divididos em despesas de investimento e de funcionamento (ARISTIZÁVAL et al., 2000).

- Custos de investimento

Os custos de investimento são aqueles diretamente associados à construção dos sistemas de tratamento de água. Os principais fatores que afetam as despesas são: vazão de projeto, tipo de ETA, tipo de construção, critério de projeto, mão-de-obra, materiais empregados, localização geográfica, ferramentas, equipamentos, recursos financeiros, condições geológicas e climáticas da área (ARISTIZÁVAL et al., 2000).

- Custos de funcionamento

As despesas de funcionamento são essenciais porque asseguram a permanência das instalações no tempo. Nessas despesas se enquadram os custos de operação e de manutenção que consideram as despesas relacionadas à execução dos procedimentos e à conservação da totalidade das instalações e equipamentos previstos na produção de água potável. Cada ETA, em função das unidades envolvidas, requer um conjunto de ações específicas de operação e

manutenção para torná-las eficientes. Esses custos estão influenciados por: mão-de-obra, produtos químicos, energia elétrica, monitoramento da qualidade da água e manutenção de equipamentos (ARISTIZÁVAL *et al.*, 2000).

- Mão-de-obra: despesas geradas pelo pagamento de salários e encargos trabalhistas às pessoas encarregadas das atividades de operação e de manutenção do sistema. Os gastos dependem da quantidade de empregados, sua experiência e nível de escolaridade.
- Produtos químicos: custos das substâncias empregadas no tratamento da água (coagulante, polímero, desinfetante, etc.), os quais dependem do tipo de tecnologia.
- Energia elétrica: despesas geradas pela demanda de energia, as quais estão associadas ao tipo de tecnologia e ao tamanho das instalações. No cálculo deve-se considerar o consumo dos equipamentos e outros requerimentos (iluminação, ar condicionado, etc).
- Monitoramento da qualidade da água: gastos provocados pela realização de ensaios de laboratório para avaliar os riscos físicos, químicos, microbiológicos e radiológicos presentes na captação, nos processos de tratamento e na água final, conforme legislação nacional.
- Manutenção de equipamentos: despesas das atividades realizadas para evitar, prevenir ou reparar danos no sistema. A manutenção pode ser preventiva (envolve ações planejadas e executadas antecipadamente aos danos para prevenir cortes no serviço) e corretiva (considera atividades de atenção imediata de qualquer dano no sistema; por sua natureza é difícil prever seus custos).

5.2.1 Ciclo Completo

Paz (2007), fez uma análise de 7 estações de tratamento de água calculou os custos de implantação, operação e manutenção de uma estação de tratamento de água por ciclo completo para ETAs de 10 L/s, 20 L/s e 40 L/s. Será adotada ETA de 20 L/s nesse trabalho para fim de comparação. Nessa análise foram considerados todos os parâmetros citados acima. A Tabela 4 resume esses custos.

Tabela 4 - Custos envolvidos no tratamento de ciclo completo (ETA 20L/s).

Desembolso	Intervalo de tempo (meses)	Custo
Investimento inicial total	-	R\$ 733.368,00
Operação	12	R\$ 72.000,00
Manutenção	12	R\$ 36.000,00
Mão-de-obra	12	R\$ 118.000,00

Fonte: Adaptado de Paz (2007).

Assim, para estação de tratamento de ciclo completo (20 L/s), temos um investimento inicial de R\$ 733.368,00 e um custo anual de R\$ 166.000,00.

A Tabela 5 apresenta os custos na produção de água tratada de algumas das estações de tratamento de água da COMPESA.

Tabela 5 - Custos envolvidos na produção de água tratada da COMPESA.

ETA	Volume produzido (L/s)	Mão de obra (R\$/mês)	Energia (R\$/mês)	Produtos químicos (R\$/mês)	Manutenção (R\$/mês)
Pirapama	3.700	R\$ 52.364,73	R\$ 35.659,32	R\$ 596.319,33	R\$ 81.532,25
Tapacurá	3.086	R\$ 49.043,67	R\$ 33.845,23	R\$ 929.274,09	R\$ 79.565,85
Moreno	102	R\$ 11.142,01	R\$ 6.358,62	R\$ 16.530,23	R\$ 12.535,57
Bonança	25	R\$ 10.269,44	R\$ 2.890,33	R\$ 2.758,30	R\$ 3.750,42
Matriz da Luz	10	R\$ 10.269,44	R\$ 1.855,96	R\$ 1.400,11	R\$ 2.500,10

Fonte: COMPESA (2016).

5.2.2 Osmose Reversa

Ramos (2009) efetuou uma análise de custo da tecnologia de tratamento de água por osmose reversa utilizando um sistema com 102 membranas e 125 filtros de cartucho para realizar o tratamento de 75 m³/h (20,8 L/s) de água com SDT = 100 ppm, utilizando uma pressão de alimentação de 8,05 bar. A taxa de recuperação foi de 75%, ou seja, foram gerados 15,6 L/s de água tratada. A Tabela 6 resume os custos tanto do processo de osmose reversa em si como do uso de produtos para a correção de pH.

Tabela 6 - Custos envolvidos na osmose reversa (15,6 L/s).

Desembolso	Intervalo de tempo (meses)	Custo
Investimento inicial total	-	R\$ 1.500.000,00
Operação	12	R\$ 218.556,10
Manutenção	12	R\$ 113.000,00
Mão-de-obra	12	R\$ 86.400,00

Fonte: Adaptado de Ramos (2009).

Desta forma, para tratamento de água utilizando osmose reversa (15,6 L/s), temos um investimento inicial de R\$ 1.500.000,00 e um custo anual de R\$ 417.956,10.

É importante ressaltar que o tratamento mencionado acima foi efetuado numa água de qualidade que poder ser considerada boa, utilizando assim uma pressão relativamente baixa para o sistema e a mão-de-obra só levou em consideração os operadores. Ramos (2014) afirmou que para cada 1 metro cúbico de água do mar (1 mil litros), é gasto em média US\$ 1,00 (R\$ 3,10 em valores atuais) para transformá-la em água doce, para abastecimento. No valor estão embutidos custos de captação, tratamento e entrega ao cliente.

Também existe no mercado sistemas de tratamento por osmose reversa completos com valor girando em torno de U\$ 44.000 (R\$ 136.400,00 em valores atuais) para um sistema capaz de tratar 136.275 litros de água por dia (1,58 L/s), com capacidade de tratar água com sólidos dissolvidos totais abaixo de 2.000 ppm (APECWATER, 2016).

Já para tratamento de água do mar (sólidos dissolvidos totais abaixo de 45.000 ppm) um sistema industrializado custa em torno de U\$ 21.000 (R\$ 65.100,00 em valores atuais) com capacidade de tratar 8320 litros de água por dia (0,1 L/s) ([APECWATER, 2016](#)).

5.2.3 Filtração em Margem

Os custos envolvidos na filtração em margem se resumem a escavação do poço, a tubulação que vai ser inserida no mesmo e a bomba para extrair a água.

Tomando como base o projeto executado por [Cabral et al. \(2010\)](#), no qual foi cavado um poço de 15 metros de profundidade, 12,25 polegadas de diâmetro por meio de perfuração rotativa com circulação direta, utilizando uma seção de filtro na profundidade de 6 a 12 metros e tubulação de PVC geomecânico de 6 polegadas. Para a retirada da água do poço foi usado um conjunto motor-bomba centrífuga de 1,5 CV, que garantiu uma vazão de 12,5 m³/h (3,47 L/s). A Tabela 7 mostra os custos com a filtração em margem.

Tabela 7 - Custos envolvidos na filtração em margem (3,47 L/s).

Desembolso	Intervalo de tempo (meses)	Custo
Perfuração do poço	-	R\$ 3.450,00
Tubulação	-	R\$ 1.446,20
Bomba centrífuga	-	R\$ 1.646,78
Mão-de-obra	12	R\$ 36.000,00
Energia elétrica	12	R\$ 4.290,00

Fonte: [SINAPI \(2016\)](#).

Para critério de comparação, considera-se o uso de cinco poços, que vão proporcionar uma vazão de 17,35 L/s. Com isso é possível observar que os custos de implantação da filtração em margem são baixos quando comparados com os dois métodos anteriores, ficando em torno de R\$ 32.715,00 (para vazão de 17,35 L/s). O custo anual também é baixo, ficando em torno de R\$ 57.450,00 (para vazão de 17,35 L/s).

5.2.4 Desinfecção Solar

Por se tratar de um método extremamente simples os custos para o tratamento de água por desinfecção solar podem ser considerados desprezíveis quando comparados aos outros 3 métodos.

5.3 Número de pessoas que serão abastecidas

A população do local onde será instalado o método é de extrema importância, sendo fundamental a realização de um estudo prévio da demanda do sistema de abastecimento de água que leva em consideração a projeção populacional, para que o método de tratamento de água a ser utilizado supra essa demanda tanto no presente quanto no futuro.

5.3.1 Ciclo Completo

O volume de água tratada que as estações de tratamento de ciclo completo conseguem gerar só dependem de recursos disponíveis (financeiros, materiais e mão-de-obra), vazão que o afluente proporciona e terreno para construção da estação. Se todos esses requisitos forem atendidos não há um limite do número de pessoas abastecidas por uma estação de tratamento de ciclo completo.

5.3.2 Osmose Reversa

Da mesma maneira que as estações de tratamento de ciclo completo, a osmose reversa também não possui um limite no número de pessoas a serem abastecidas, o que dificulta a sua utilização para grandes comunidades é o seu elevado custo de implantação e operação.

5.3.3 Filtração em Margem

Por se tratar de um método de tratamento de água que passou a ser utilizado há relativamente pouco tempo (no Brasil) e sem grandes investimentos públicos no

estudo dessa técnica, os poços escavados no Brasil com a intenção de serem usando para tratamento por Filtração em Margem não possuem vazões elevadas, sendo a maior registrada de 3,47 L/s (o suficiente para abastecer aproximadamente 1500 pessoas), portanto sendo recomendada para comunidades de pequeno porte (no Brasil).

Nos Estados Unidos a técnica de Filtração em Margem atinge grandes vazões chegando a 880 L/s em um só poço, mostrando que com investimentos e estudos o método pode ser utilizado para abastecer grandes populações (RAY et al., 2002).

5.3.4 Desinfecção Solar

Por se tratar de um método de grande simplicidade, a desinfecção solar é recomendada para povoados ou comunidades muito pequenas em que a água não possua uma qualidade muito baixa, pois esse método não consegue remover a maioria dos poluentes presentes na água e opera com vazões baixas.

5.4 Local em que os métodos podem ser implantados

5.4.1 Ciclo Completo

O local onde será implantada a estação de tratamento de ciclo completo só depende de recursos disponíveis (financeiros, materiais e mão-de-obra e terreno para construção da estação. Se esses requisitos forem atendidos não há um empecilho em relação ao local.

5.4.2 Osmose Reversa

Da mesma maneira que as estações de tratamento de ciclo completo, a osmose reversa também não possui entrave em relação ao local em que vai ser instalada.

Porém, a usina precisa ficar próxima ao litoral por causa do alto poder de corrosão do sal. Só depois de tratada, ela pode seguir para distribuição (RAMOS, 2014).

5.4.3 Filtração em Margem

Se baseando em estudos de caso já realizados principalmente no continente Europeu e Norte Americano onde a tecnologia é fortemente empregada, foram criados parâmetros ideais para que a tecnologia de tratamento de água fosse empregada, constituindo-se assim as premissas básicas de viabilidade de aplicação.

Ray & Grischek (2009) postularam as premissas básicas, sendo as principais (referente ao rio e suas margens):

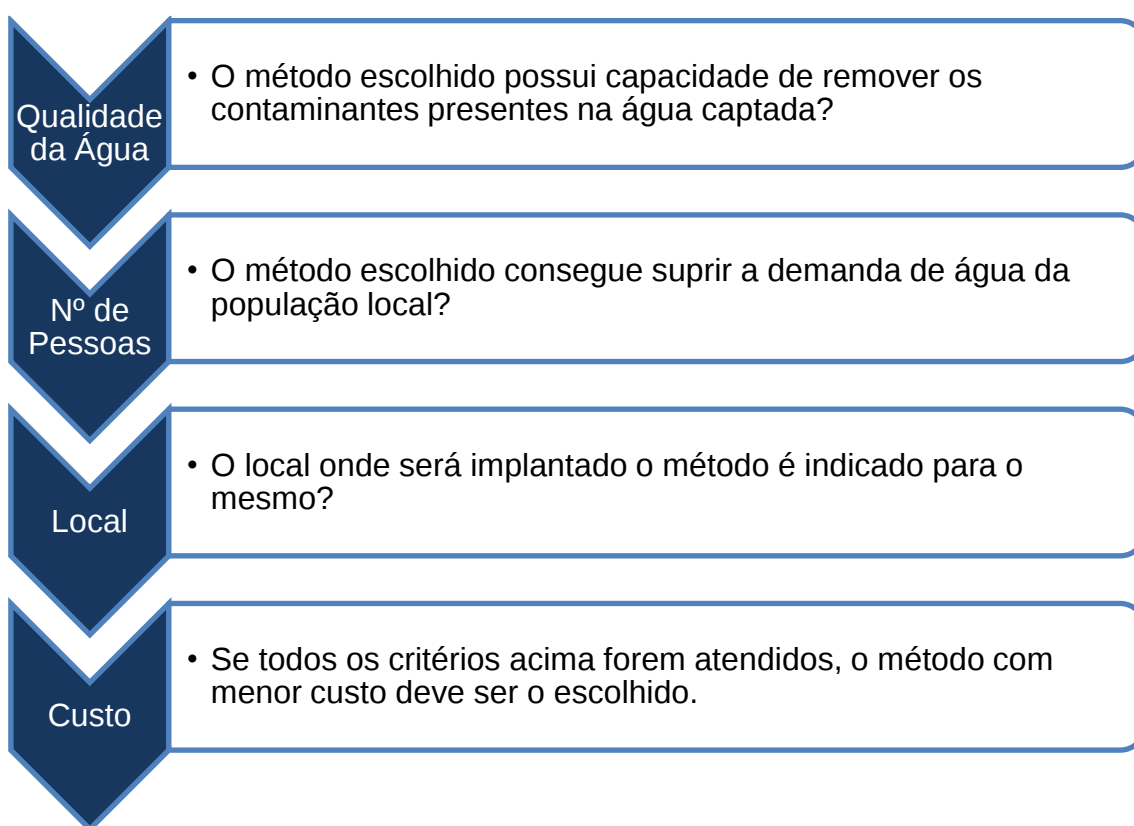
- Solos predominantemente arenosos;
- Estabilidade das margens;
- Silte e argila em porcentagem reduzida (camada superficial);
- Profundidade do aquífero superior a 10 m;
- Velocidade média do rio superior a 1 m/s;
- Taxa de infiltração em torno de 0,2 m³/m².d;
- Condutividade hidráulica entre 10⁻² e 10⁻⁴ m/s;
- COT e COD inferiores a 8 e 6 mg/L, respectivamente.

5.4.4 Desinfecção Solar

Por sua eficiência depender de fatores como a temperatura e a incidência luminosa, é recomendado que o local onde será utilizada a técnica de desinfecção solar possua uma temperatura elevada e uma grande incidência de radiação (tanto global quanto UV), devendo-se assim evitar locais com elevada incidência de chuva, frios ou com nebulosidade.

6 CRITÉRIOS DE DECISÃO

Baseado no comparativo mostrado anteriormente podemos escolher qual o método de tratamento indicado baseando-se nos critérios do comparativo e visando sempre o melhor custo/benefício. Portanto, o método deve ser escolhido de modo a atender a os parâmetros de qualidade da água, o número de pessoas que vão ser atendidas e o local onde será implantado, de modo que o método que atenda a essas características seja o método de menor custo.



7 CONCLUSÃO

A partir do comparativo realizado neste trabalho, podemos perceber que em relação à quantidade de poluentes que as técnicas são capazes de remover da água, temos, em ordem decrescente: osmose reversa, tratamento por ETA de ciclo completo, filtração em margem e desinfecção solar. Já nos custos, temos, em ordem decrescente: osmose reversa, tratamento por ETA de ciclo completo, filtração em margem e desinfecção solar. Ou seja, quanto maior a capacidade de remoção de poluentes, maior será o custo do tratamento.

Em relação aos outros dois parâmetros analisados neste trabalho (local onde será implantado e população a ser abastecida), também vemos uma maior vantagem nos métodos de custos mais elevados.

Por conta disto se mostra necessário um detalhado estudo da qualidade da água, obtendo conhecimentos acerca dos poluentes presentes na mesma, não só em um curto período de tempo, mas no decorrer do ano. Bem como do local a ser implantado o método e da população que será abastecida para que se possa deixar a água que será tratada nos padrões de potabilidade nacionais com o menor custo possível, a fim de evitar desperdícios.

8 DIMENSIONAMENTO ETA DE CICLO COMPLETO

O dimensionamento da Estação de Tratamento de Água aqui apresentado foi feito com o objetivo de enriquecer o presente trabalho, baseando-se portanto, em uma cidade fictícia com uma população de 9.000 habitantes.

8.1 Vazão de projeto

População (P) = 9.000 habitantes

Coeficiente do dia de maior consumo K1 = 1,2

Coeficiente da hora de maior consumo K2 = 1,5

Consumo médio diário (C) = 200 Litros por habitante por dia

Vazão = $P \cdot C \cdot K1 \cdot K2 = 37,5$ litros por segundo

Vazão adotada (Q) = 40 L/s

8.2 Estrutura de chegada de água bruta

É proposta estrutura de chegada do tipo canal com calha Parshall. Dimensões padrão para garganta de largura de 2 pés com capacidade de medição de vazão de até 937 L/s.

Dimensões finais:

Um canal com:

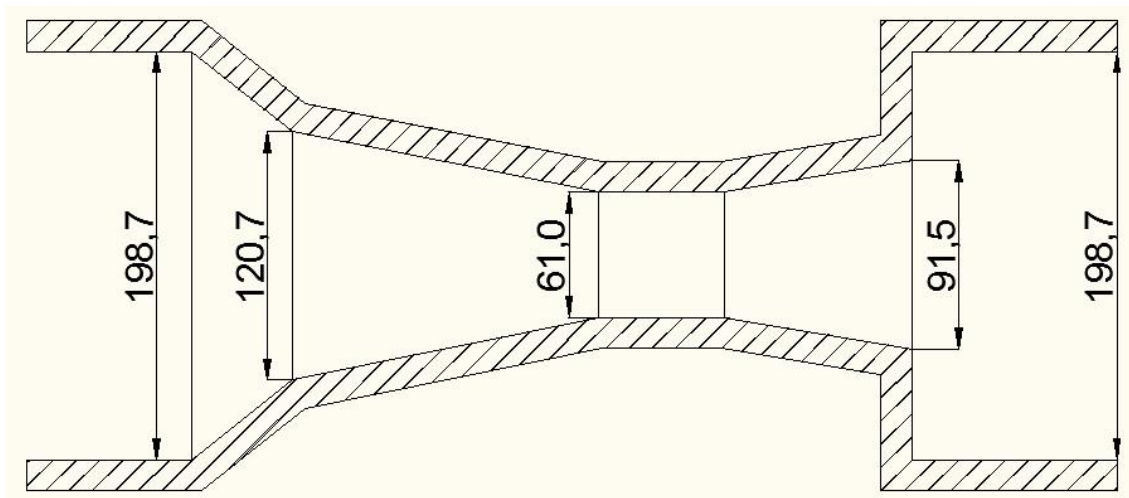
Largura = 2,1 m

Comprimento = 5,5 m

Altura = 1 m

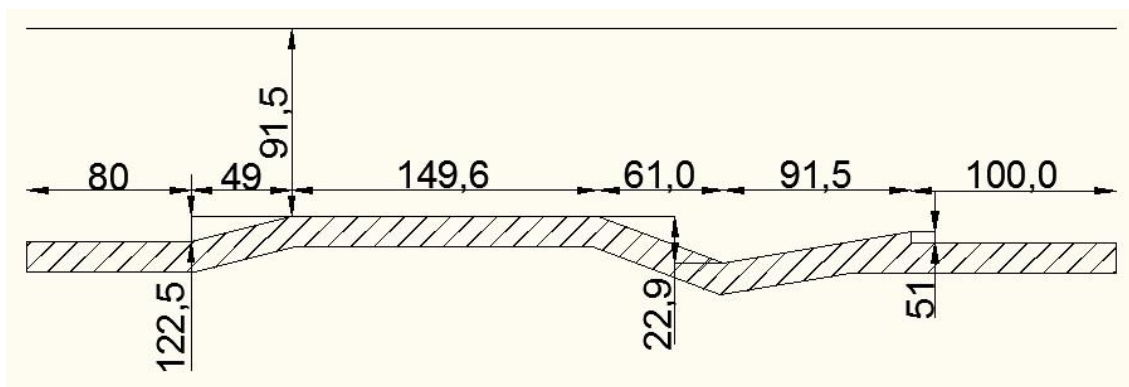
Com calha Parshall de fibra de vidro com dimensões padrão para garganta com largura de 2'.

Figura 23 - Vista em planta da calha Parshall.



Fonte: O autor.

Figura 24 - Corte lateral da calha Parshall.



Fonte: O autor.

Para a mistura rápida será construída uma câmara de seção quadrada (lado L) com tempo de detenção (T_d) igual a 30 segundos, com entrada pela parte inferior e saída pela parte superior e com a presença de um agitador.

$$\text{Volume (V)} = \text{Vazão (Q)} \cdot T_d = 1,2 \text{ m}^3$$

Adotando o lado (L) igual a 1 metro, temos que a altura (H) será igual a 1,2 metros.

Adotando-se 0,2 metros até o nível d'água, temos:

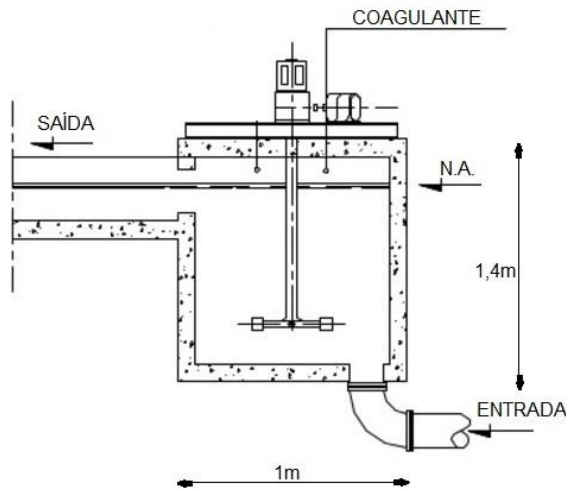
Dimensões finais:

Uma câmara quadrada com:

Lado = 1 m

Altura = 1,4 m

Figura 25 - Câmara de mistura rápida.



Fonte: O autor.

8.3 Floculadores

Serão adotados dois conjuntos de floculadores com 3 floculadores em série cada um, ou seja, 6 floculadores no total.

Adotando-se:

Tempo de floculação (T_f) = 40 minutos

Profundidade útil (P_f) = 4 metros

Distância do rotor ao fundo do floculador (h_f) = 1,1 metro

Vazão para cada conjunto (Q') = Q / número de conjuntos

$$Q' = 0,02 \text{ m}^3/\text{s}$$

Tempo de detenção em um floculador (T_d) = T_f / número de floculadores em cada conjunto.

$$T_d = 800 \text{ segundos}$$

$$\text{Volume de um floculador (V)} = Q' \cdot T_d = 16 \text{ m}^3$$

Considerando que o floculador tem seção quadrada, temos:

$$\text{Lado do floculador (L}_f\text{)} = \sqrt{V / P_f} = 2 \text{ metros}$$

Diâmetro do rotor = 1 metro (rotor de paletas inclinadas a 45°)

Dimensões finais:

Dois conjuntos formados, cada um, por 3 câmaras em série com:

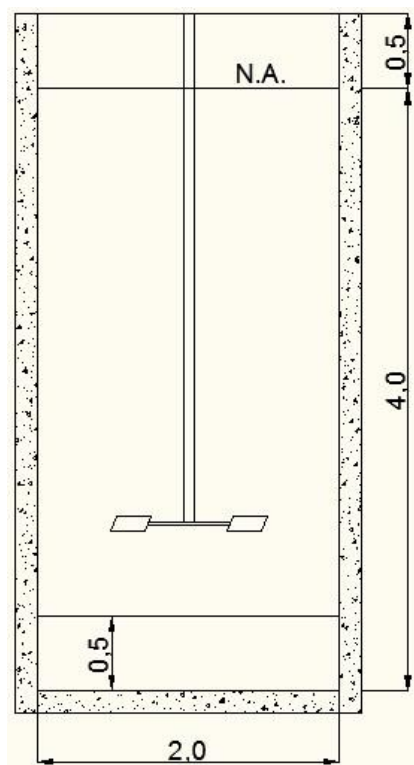
Lado = 2 m

Profundidade útil = 4 m

Borda livre = 0,5 m

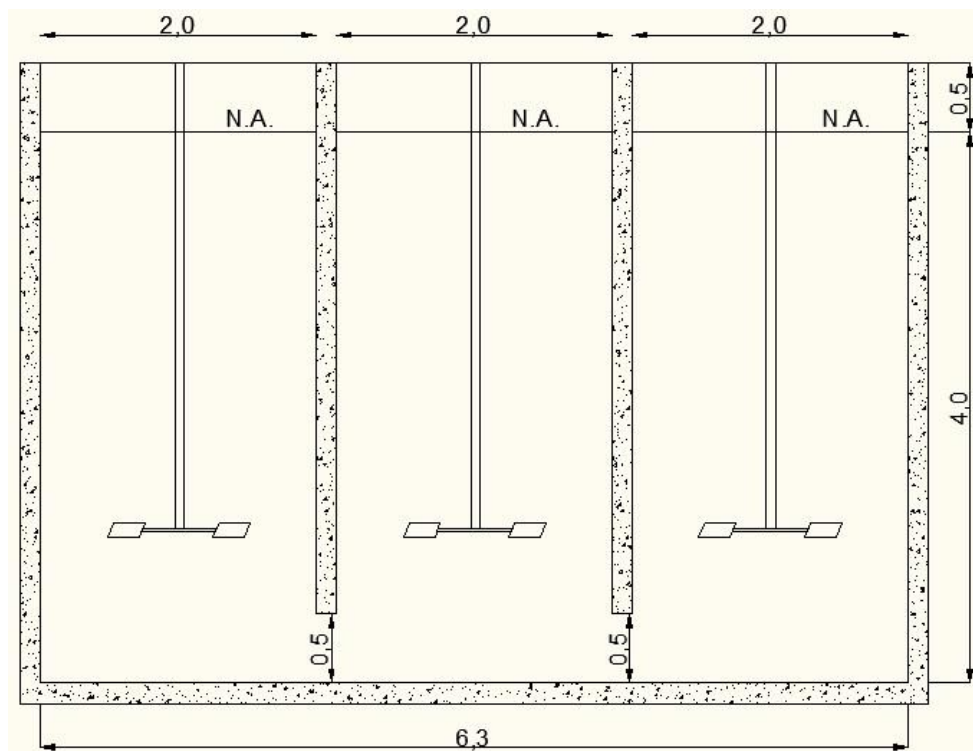
Diâmetro do rotor = 1 m

Figura 26 - Corte frontal dos floculadores.



Fonte: O autor.

Figura 27 - Corte lateral dos floculadores.



Fonte: O autor.

8.4 Decantadores

Serão adotados dois decantadores em paralelo.

Adotando-se:

Taxa de aplicação superficial (TAS) = $30 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

Altura útil (H_u) = 4 metros

Vazão de cada decantador (Q') = $Q/2 = 0,02 \text{ m}^3/\text{s}$

Área de cada decantador (A) = $Q'/\text{TAS} = 58 \text{ m}^2$

Adotando-se a largura (L) = 4 m, temos que o comprimento (C) = $A / L = 14,5 \text{ m}$

Área horizontal (A_h) = $L \cdot H_u = 16 \text{ m}^2$

Velocidade horizontal (V_h) = $Q'/A_h = 0,00125 \text{ m/s}$

$$\text{Raio hidráulico (Rh)} = (L \cdot Hu) / (L + 2Hu) = 0,8 \text{ m}$$

Número de Reynolds = $(Vh \cdot Rh) / 0,000001 = 1.000$, o número de Reynolds tem que ser menor que 20.000, portanto a verificação foi OK.

Para o dimensionamento da comporta de descarga de lodo, temos:

Área da comporta (A_c) = $(A \cdot \sqrt{Hu}) / (4850 \cdot T_d)$. Para um tempo de descarga (T_d) = 3 horas, temos:

$$A_c = 0,08 \text{ m}^2$$

Para o dimensionamento das calhas de coleta de água decantada, temos:

Comprimento da calha (C_c) = $Q' / 1,8 = 12$ metros, mas como o comprimento da calha pode ser no máximo 30% do comprimento do decantador teremos que dividir em mais de uma calha, ficando assim com 3 calhas de 4 metros cada uma. Será adotado um valor de 0,3 metros para a largura da calha (L_c).

Altura da calha (H_c) = $\sqrt[1,5]{\frac{Q' / 3}{1,3 \cdot L_c}} = 0,02 \text{ m} + 0,1 \text{ m (folga)} = 0,12 \text{ m}$. para fim de projeto será adotado $H_c = 0,2 \text{ m}$.

Será adotada uma inclinação tanto para o fundo do decantador como para a canaleta central de 5% a fim de haja um escoamento do lodo em direção a comporta de descarga do mesmo.

Dimensões finais:

Dois decantadores atuando em paralelo com:

Largura do decantador = 4 m

Comprimento do decantador = 14,5 m

Altura útil do decantador = 4 m

Borda livre = 0,3 m

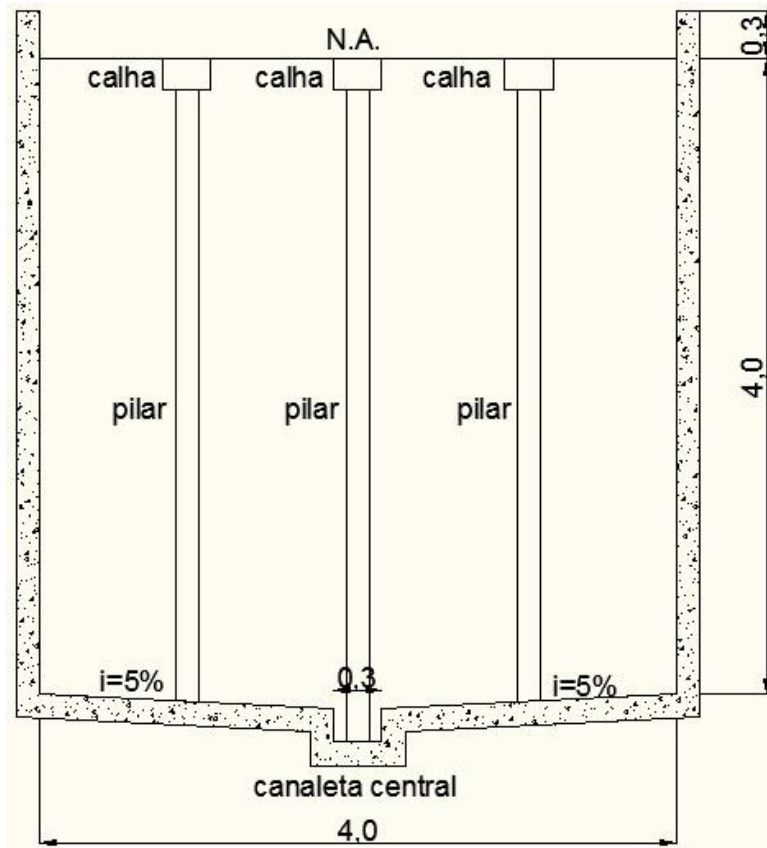
Área da comporta de descarga de lodo = 0,08 m²

Comprimento das calhas de coleta de água decantada = 4 m

Largura das calhas de coleta de água decantada = 0,3 m

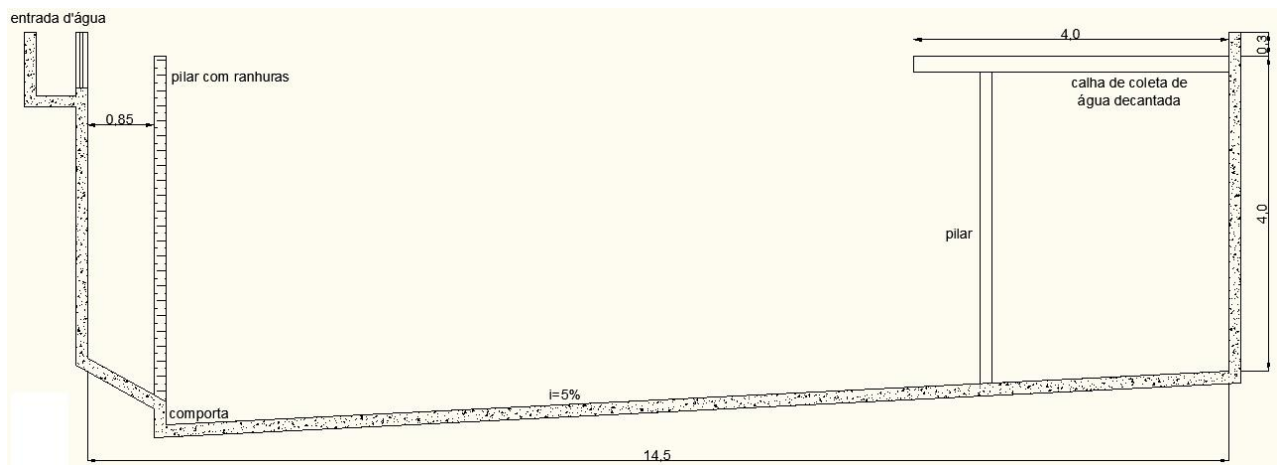
Altura das calhas de coleta de água decantada = 0,2 m

Figura 28 - Corte frontal do decantador.



Fonte: O autor.

Figura 29 - Corte lateral do decantador.



Fonte: O autor.

8.5 Filtros

Serão adotados 4 filtros em paralelo.

Adotando-se:

Taxa de filtração (TF) = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$

Vazão para cada filtro (Q_f) = $Q / 4 = 0,01 \text{ m}^3/\text{s}$

Área do filtro (A_f) = $Q_f / TF = 4,8 \text{ m}^2$

Considerando a largura (L_f) do filtro igual a 2 metros, temos:

Comprimento do filtro (C_f) = $A_f / L_f = 2,4 \text{ m}$

Para esses filtros será utilizado um fundo falso para os difusores de água de altura igual a 0,6 metros e borda livre igual a 0,5 metros.

Para a camada filtrante será utilizado uma camada de suporte composta de pedregulho de 0,7 metros, seguida por uma camada de antracito de 0,3 metros e por uma camada de areia de 0,7 metros. Acima da camada filtrante será adotada uma lâmina de água de 2,2 metros. Assim, temos que:

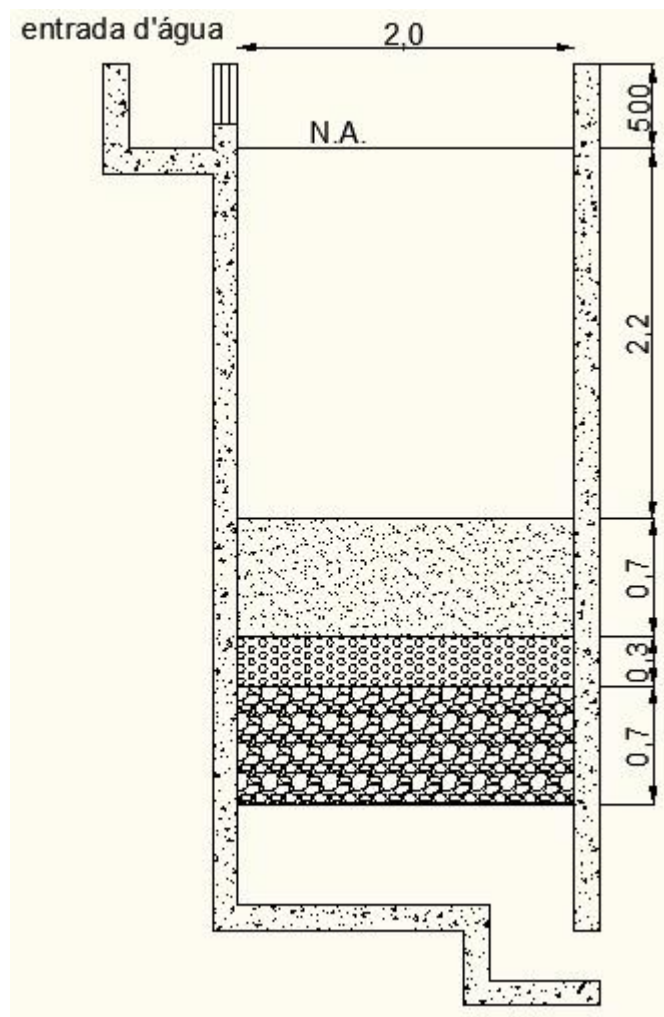
Altura total do filtro (H_f) = $0,6 + 0,7 + 0,3 + 0,7 + 2,2 + 0,5 = 5 \text{ metros}$

Dimensões finais:

4 filtros em paralelo com:

Largura do filtro = 2 m
Comprimento do filtro = 2,4 m
Fundo falso para difusores = 0,6 m
Camada de suporte = 0,7 m
Camada filtrante = 1 m
Lâmina de água = 2,2 m
Borda livre = 0,5 m
Altura do filtro = 5 m

Figura 30 - Corte do filtro.



Fonte: O autor.

8.6 Tanque de contato

Adotando um tempo de contato (t_c) de 30 minutos temos:

$$\text{Volume do tanque de contato (Vt)} = Q \cdot t_c = 72 \text{ m}^3$$

Adotando uma altura de 2 metros e uma largura de 8 metros, teremos que o comprimento do tanque de contato será de 4,5 metros. Será adotada uma borda livre de 0,5 metros.

Dimensões finais:

1 tanque de contato com:

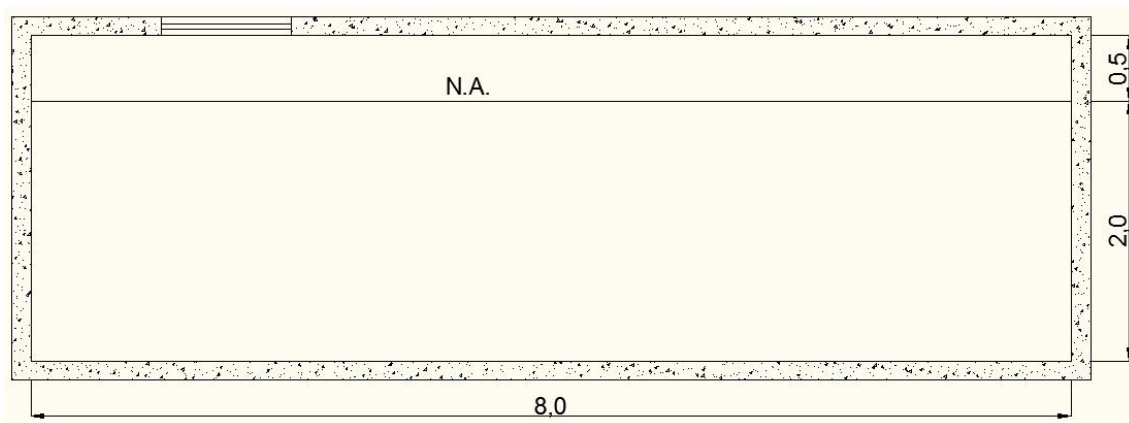
Largura do tanque = 8 m

Comprimento do tanque = 4,5 m

Altura do tanque = 2 m

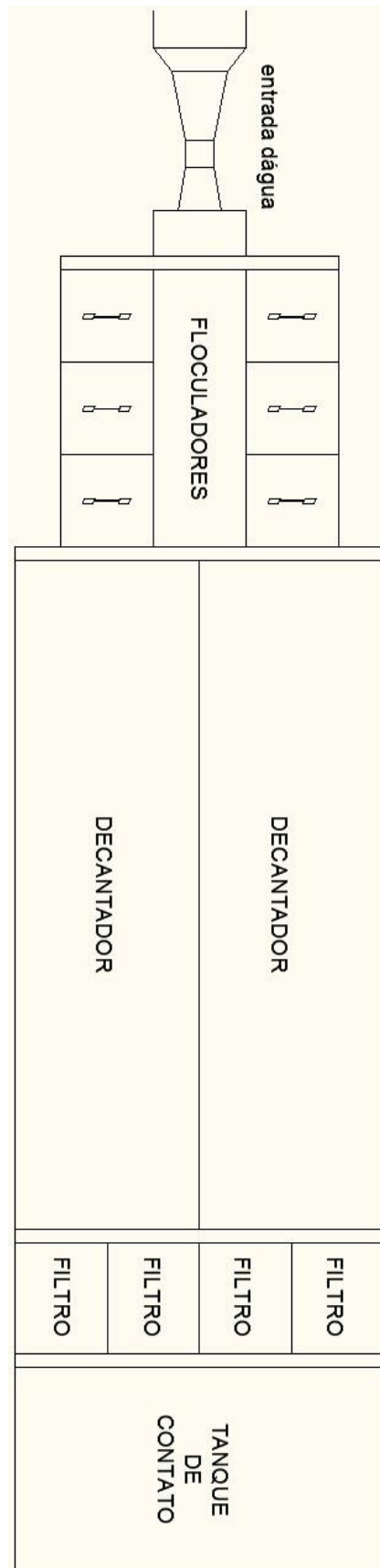
Borda livre = 0,5 m

Figura 31 - Corte do tanque de contato.



Fonte: O autor.

Figura 32 - Esquema da ETA em planta.



Fonte: O autor.

REFERÊNCIAS

ACQUAVIT. **Osmose reversa**. Disponível em:

<<http://www.acquavit.com.br/content/osmose-reversa>>. Acesso em 17 de julho de 2017.

ACRA, A.; RAFFOUL, Z.; KARAHAGOPIAN, Y. **Solar disinfection of drinking water and oral rehydration solutions: guidelines for household application in developing countries**, 1984.

Adat Water Services. **About reverse osmosis**. Disponível em:

<<http://www.adatwaterservices.com/adat-school/about-reverse-osmosis/>>. Acesso em 10 de julho de 2017.

APECWATER. **Reverse osmosis system pro industrial 36000 GPD**. Disponível

em : <<http://www.freedrinkingwater.com/ro-pro-industrial-high-volume-36kgpd.htm>>. Acesso em 26 de julho de 2017.

APECWATER. **Sea water desalination 2200 GPD reverse osmosis system**.

Disponível em: <<http://www.freedrinkingwater.com/sea-water-desalination-reverse-osmosis-system-2200-gpd-220v-with-1-2-feed-water-connection.htm>>. Acesso em 30 de julho de 2017.

BITTON, G. **Wastewater Microbiology**. 4. ed. Hoboken, Nj, Usa: Wiley-blackwell, 2011. 781 p.

BOUWER, H. **Artificial recharge of groundwater: hydrogeology and engineering**, 2002. Arizona, 22 p.

BRASIL, Ernesto Geisel, Decreto federal nº 79.367 de 9 de março de 1977.

BRASIL, Getúlio Vargas, Decreto nº 24.643, de 10 de Julho de 1934.

BRASIL, Ministério da Saúde, Portaria nº 1.469, de 29 de Dezembro de 2000.

BRASIL, Ministério da Saúde, Portaria nº 2.914, de 12 de Dezembro de 2011.

BRASIL, Ministério da Saúde, Portaria nº 36, de 19 de Janeiro de 1990.

BRASIL, Ministério da Saúde, Portaria nº 635, de 26 de Dezembro de 1975 D.O. de 30/01/76.

BRASIL, Ministério da Saúde, **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**. 1ª edição. Brasília/DF, Brasil. Secretaria de Vigilância em Saúde, 2006.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011b.

Brisanzia, **Ultraviolet System**. Disponível em: <<http://www.waste-water-treatments.com/ultraviolet-system.html>>. Acesso em 19 de julho de 2017.

CABRAL, J. J. S. P. *et al.* **Filtração em Margem para Indução de Recarga e Melhoria da Qualidade de Água** – Estudo de Caso: Rio Beberibe. Águas subterrâneas, Recife, v. 24, n. 1, p. 103-114, 2010.

CAMPOS, L. P. S. **Filtração em Margem no Tratamento de Água**: Avaliação da Aplicação da Técnica no Mamancial da Lagoa do Peri, Santa Catarina, e Análise Prévia de Viabilidade de Aplicação em Rio Grande, Rio Grande do Sul. 60 p. 2012.

CARVALHO, R. B. **Desenvolvimento de membranas de osmose inversa e de nanofiltração através do processamento simultâneo de duas soluções poliméricas**. 285 p. *Exame de qualificação ao doutorado*, PEQ-COPPE, UFRJ, 2003.

CARVALHO, R. B., BORGES, C. P., NOBREGA, R. **Formação de membranas planas celulósicas por espalhamento duplo para os processos de**

nanofiltração e osmose inversa. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v. 11, pp. 65-75, 2001.

Ciemat. **Solar treatment of water facilities.** Disponível em: <<http://www.psa.es/en/instalaciones/aguas.php>>. Acesso em 23 de julho de 2017.

COMPESA. **Tabela obtida em visita à estação de tratamento de água de Pirapama -PE**, 2016.

COMPANHIA MUNICIPAL DE SANEAMENTO DE NOVO HAMBURGO - COMUSA. **Tratamento de água.** Disponível em: <<http://www.comusa.rs.gov.br/index.php/saneamento/tratamentoagua>>. Acesso em 25 de julho de 2017.

DUNLOP, P. S. M. *et al.* **Inactivation and injury assessment of Escherichia coli during solar and photocatalytic disinfection in LDPE bags.** *Chemosphere*, v. 85, n. 7, p.1160-1166, 2011.

Famille Weben. **Qu'est ce que l'osmose?** Disponível em: <<http://familleweben.pagesperso-orange.fr/tiger-l-osmose/l-osmose/>>. Acesso em 10 julho 2017.

FILMTEC. **Membranes - Basics of RO and NF:** Principle of Reverse Osmosis and Nanofiltration. Form No. 609-02003-1004. 2003.

FREITAS, M. B.; FREITAS, C. M. **A vigilância da qualidade da água para consumo humano: desafios e perspectivas para o Sistema Único de Saúde.** *Ciência & Saúde Coletiva*. Rio de Janeiro, v.10, n.4, p. 993-1004, 2005.

GALVIS, G. *et al.*. **Multistage Filtration:** A Water Treatment Technology. IRC - CINARA - Universidad del Valle, The Hague, The Netherlands, 1998a.

GRUNDFOS. **Raw water intake - Seawater.** Disponível em: <<http://www.grundfos.com/market-areas/water/water-utility/raw-water-intake/seawater.html>>. Acesso em 11 de julho de 2017.

HABERT, A.C. *et al.* **Fundamentos e Operação dos Processos de Nanofiltração e Osmose Inversa.** Programa de Engenharia Química, 2005.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano,** Ed UFMG, 2006.

HUBBS, S. A. **Processes involved in mechanical clogging of riverbank filtration systems.** Louisville, 121 p. 2004.

HUNT, H.; SCHUBERT, J.; RAY, C. **Riverbank Filtration – Improving Source-Water Quality,** 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE PESQUISA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Pesquisa Nacional de saneamento básico 2008.** Rio de Janeiro, 2010.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO. **ISO 21348: Process for Determining Solar Irradiances,** 2007.

JANUÁRIO, G. F.; FERREIRA FILHO S. S. **Planejamento e aspectos ambientais envolvidos na disposição final de lodos das estações de tratamento de água da região metropolitana de São Paulo.** Eng. Sanit. Ambient., Rio de Janeiro, v. 12, n. 2, p. 117-126, abr./jun. 2007.

KEHOE, S. C. *et al.* **Batch process solar disinfection is an efficient means of disinfecting drinking water contaminated with Shigella dysenteriae type I.** Letters in Applied Microbiology 2004, 38, 410–414, 2004.

KOZISEK, F. **Health Risks From Drinking Demineralised Water.** National Institute of Public Health, p. 148-163, 2011.

MALATO, S. *et al.* **Decontamination and disinfection of water by solar photocatalysis: Recent overview and trends.** *Catalysis Today*, v. 147, n. 1, p.1-59, 2009.

MEIERHOFER, R.; LANDOLT, G. **Factors supporting the sustained use of solar water disinfection:** Experiences from a global promotion and dissemination programme. International Workshop Edinburgh, Scotland, 2008.

Ministério da Saúde, Portaria Nº 2914, de 12 de Dezembro de 2011.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Água um recurso cada vez mais ameaçado.** 16 p. 2009.

MOURA, J. P. *et al.* **Aplicações do Processo de Osmose Reversa Para o Aproveitamento de Água Salobra do Semi-árido Nordestino.** Campina Grande, 25 p. 2009.

NORTHERN. **Engine driven high pressure pumps.** Disponível em: <http://www.northerntool.com/shop/tools/category_water-pumps+engine-driven-pumps+engine-driven-high-pressure-pumps>. Acesso em 13 de julho de 2017.

OLIVEIRA, D. R. **Pré-tratamento do Processo de Osmose Inversa Utilizando Microfiltração e Investigação de Técnicas de Limpeza e Recuperação de Membranas.** 127 p. Tese de mestrado - UFRJ, 2007.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE - OMS. **Guidelines for drinkin-water quality.** 3rd edition, 2008. 668 p.

PAZ, L. P. S. **Modelo Conceitual de Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água para Abastecimento de Comunidades de Pequeno Porte.** 398 p. Tese de doutorado - UFSCar, 2007.

PROLAGOS. **Estação de tratamento de água de reúso (ETAR)**. Disponível em: <<http://www.prolagos.com.br/estacao-de-tratamento-de-agua-de-reuso-etar/>>.

Acesso em 11 de julho de 2017.

PURETEC. **What is reverse osmosis?** Disponível em: <<http://puretecwater.com/what-is-reverse-osmosis.html>>. Acesso em 14 de julho de 2017.

RAMOS, J. R. Troca Iônica X Osmose Reversa, 2009. Disponível em: <<http://pt.slideshare.net/ProjetoBr/osmose-reversa-x-troca-inica>>. Acesso em 27 de julho de 2017.

RAMOS, R. em entrevista para o site globo.com, 2014. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sao-paulo/noticia/2014/11/custo-e-estrategia-sao-desafios-para-dessalinizacao-em-sp-diz-especialista.html>>. Acesso em 2 de agosto de 2017.

RAY, C.; GRISCHEK, T.; **Riverbank Filtration: Understanding Contaminant Biogeochemistry And Pathogen Removal**. The Netherlands: Kluwer Academic Publ., 2009.

RAY, C.; SCHUBERT, J; LINSKY, R.B; MELIN, G. **Riverbank Filtration – Improving Source-Water Quality**, 2002.

SAHOO, G.B. *et al.* **Use of artificial neural networks to evaluate the effectiveness of riverbank filtration**. Water Research, v.39, p. 2505-2516, 2005.

SCHENEIDER, R. P.; TSUTIYA, M. T. **Membranas filtrantes para o tratamento de água, esgoto e água de reúso**. 1º edição. São Paulo: ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária Ambiental. 2001. 324 p

SCIACCA, F. *et al.* **Dramatic enhancement of solar disinfection (SODIS) of wild Salmonella sp. In PET bottles by H₂O₂ addition on natural water of Burkina Faso containing dissolved iron**. Chemosphere, v. 78, n. 9, p.1186-1191, 2010.

SHTF. **Tips and advice on how to survive while sheltering at work when SHTF!**

Disponível em: <<http://www.shtfliving.com/shelteratwork.html>>. Acesso em 26 de julho de 2017.

SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL - SINAPI. **Insumos e composições**, PE, 2016.

TUFENKJI, N.; RYAN, J. N.; ELIMELECH, M. **Bank filtration**: a simple technology may inexpensively clean up poor-quality raw surface water. *Environmental Science & Technology*, 423-4028, 2002.

UBOMBA-JASWA, E. et al. **Investigating the microbial inactivation efficiency of a 25 L batch solar disinfection (SODIS) reactor enhanced with a compound parabolic collector (CPC) for Household Use**. *Journal Of Chemical Technology And Biotechnology*, v. 85, n. 8, p.1028-1037, 2010.

UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION - UNESCO. **The United Nations world water development report - Water for a sustainable world**, 2015.

VICTOR, A.; CHANDRASEKAR, G.; PHANUEL, J. **IEEE R10 HTA Portable Autonomous Water Purification System**, 2015.

VILELA, M; OKUNO, E. **Radiação Ultravioleta** : Características e efeitos. *Temas atuais de Física/SBF*, editora livraria da física, 1a. Edição, 2005.

WAJSMAN, E. N. **Concepção de Estação Piloto de Tratamento de Água no Centro Experimental de Saneamento Ambiental da UFRJ**. 73 p. - CESA/UFRJ, 2007.

WANG, J.; SMITH, J.; DOOLEY, L. **Evaluation of riverbank infiltration as a process for removing particles and DBP precursors**, 1995.

Wikipédia. **Espectro visível.** Disponível em:
<https://pt.wikipedia.org/wiki/Espectro_visível>. Acesso em 25 de julho de 2017.

WILBERT, M. C *et al.* **The desalting and water treatment membrane manual: a guide to membranes for municipal water treatment.** Water treatment technology program, report nº29, 1998.

WITTMAN, J.; HYDRO, L. **Riverbank Filtration** - An Old Solution to a New Problem, 2013.