

Trabalho de Conclusão de Curso

**ALTERNATIVAS DE TRATAMENTO DE CORPOS D'ÁGUA
CONTAMINADOS EM CIDADES LITORÂNEAS: UM ESTUDO
DE CASO EM BALNEÁRIO ARROIO DO SILVA.**

Mateus Steiner Scaini

Orientador

Profa. Maria Eliza Nagel Hassemer, Dra.



Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental

Universidade Federal de Santa Catarina

Mateus Steiner Scaini

**Alternativas de tratamento de corpos d'água contaminados em cidades
litorâneas: um estudo de caso em Balneário Arroio do Silva**

Florianópolis

2019

Mateus Steiner Scaini

Alternativas de tratamento de corpos d'água contaminados em cidades litorâneas: um estudo de caso em Balneário Arroio do Silva.

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental
Orientadora: Prof. Maria Eliza Nagel Hassemer, Dra.

Florianópolis

2019

Ficha de identificação da obra

Scaini, Mateus Steiner

Alternativas de tratamento de corpos d'água contaminados em cidades litorâneas: um estudo de caso em Balneário Arroio do Silva. / Mateus Steiner Scaini ; orientadora, Maria Eliza Nagel Hassemer, 2019.
55 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Florianópolis, 2019.

Inclui referências.

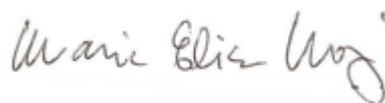
1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2. Balneabilidade. 3. Coliformes. 4. Desinfecção. I. Hassemer, Maria Eliza Nagel . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. III. Título.

Mateus Steiner Scaini

Alternativas de tratamento de corpos d'água contaminados em cidades litorâneas: um estudo de caso em Balneário Arroio do Silva.

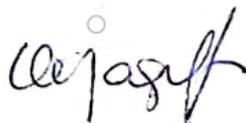
Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental e aprovado em sua forma final Programa do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental.

Florianópolis, 04 de Dezembro de 2019



Prof. Maria Elisa Magri, Dr.
Coordenadora do Curso

Banca Examinadora:



Profa. Maria Eliza Nagel Hassemer, Dra
Orientador(a)
UFSC



Profa. Alexandra Finotti, Dra.
Avaliadora
UFSC



Engenheiro Danilo de Castro Silva
Avaliador
UFSC

Este trabalho é dedicado à cidade em que nasci e vivi.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Gisela e ao Alemão por todo o apoio até aqui e pelo amor incondicional. Agradeço à Dona Marlene e ao Seu Egon por serem meus maiores incentivadores até mesmo nos meus maiores fracassos. Agradeço à Beatriz pela cobrança e seriedade. Agradeço aos meus amigos Otávio, Fernando Henrique e Fernando Henrique por diversos motivos, excluindo o aprendizado de termos em inglês. Agraço a minha orientadora Maria Eliza por todo o suporte durante a execução deste trabalho. Agradeço a minha banca avaliadora pelas várias correções que com certeza irei receber. Agradeço a Atlética de Engenharia Sanitária e Ambiental e a todos com quem convivi. Agradeço ao esporte, por me proporcionar momentos inesquecíveis e amizades duradouras.

RESUMO

Devido ao crescente movimento migratório das pessoas com destino as cidades, a qualidade dos corpos de água está cada vez mais ameaçada. Em cidades costeiras o problema se torna ainda mais eminente. No caso de Balneário Arroio do Silva, além de impactos ambientais existem também impactos sociais e financeiros, devido a cidade ser balneária e ter sua principal fonte de economia baseada no turismo. No caso específico, o arroio que nomeia a cidade é alvo de lançamentos ilegais, em sua maioria lançamento de esgoto sanitário. Além disso, devido ao alto lençol freático, muitos dos tratamentos individuais residenciais não apresentam eficiência suficiente, vindo a poluir os corpos hídricos. Devido a essas circunstâncias a água do corpo hídrico pertencente ao “arroio central” contamina-se, tornando parte da praia imprópria para banho. Após uma análise da qualidade da água do arroio central, várias alternativas são propostas para a melhoria de qualidade do corpo d'água, analisando a melhor solução que dispõe viabilidade de aplicação. Para a pesquisa foram analisados três métodos de tratamento: wetland Flutuante, filtração Superficial por filtro tela inclinado e flotação por ar dissolvido. Os tratamentos foram analisados baseando-se na melhor efetividade da desinfecção, visto que o objetivo do trabalho é a melhora da balneabilidade. Quanto a desinfecção, foram comparados os métodos de Desinfecção por Hipoclorito, por ozonização e por radiação UV. A escolha do procedimento levou em consideração a alternativa que melhor se alocaria à situação local, além de eficiência, custo e impacto visual. Após a comparação dos conjuntos de tratamento estudados, optou-se pelo método de Filtração Superficial com desinfecção por radiação UV. Essas foram as escolhas pois, foram as que apresentaram maior remoção de parâmetros que impactam na balneabilidade, além de ter maior facilidade de instalação, custo de operação e custo de instalação.

PALAVRAS-CHAVE: Balneabilidade; coliformes; desinfecção.

ABSTRACT

Due to the increasing migratory movement of people to cities the quality of our water resources is increasingly threatened. In coastal cities the problem becomes even more imminent. In Balneário Arroio do Silva city's case, besides the impacts there are also social and financial impacts, due to the fact of being a seaside town and have its main source of economy based in tourism. In the specific case of the stream that names the city is the target of illegal releases, mostly sewage disposal. Besides that, due to the high water table, many of the local wastewater treatments are not efficient enough, polluting the water bodies. Due to these circumstances water from the "central stream" water body becomes contaminated, making part of the beach unfit for swimming. After an analysis of the water quality of the central stream, several alternatives are proposed to improve the water resources quality, analyzing the best solution that has viability of application. For the preliminary treatment, three treatment methods were analyzed: Floating Wetland, Superficial filtration and Dissolved Air Flotation. Treatments were analyzed based on the best effectiveness of disinfection, since the objective of this study is to improve bathing. Regarding disinfection, the Disinfection methods analyzed were chlorination, ozonation and UV radiation. The choice of procedure considers the best allocate the local situation, as well as efficiency, cost and visual impact.

After comparing the treatment sets studied, the Surface Filtration method with a UV disinfection sequence was chosen. These were the choices because they presented the greatest removal of parameters that impact on bathing, besides having greater ease of installation, operating cost, installation cost and several other parameters.

Keywords: Bathing, coliform, disinfection.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Disposição de wetland Flutuante.	20
Figura 2 - Funcionamento e modelo de grades poliméricas.....	21
Figura 3 – Funcionamento de um sistema de flotação por ar dissolvido.	22
Figura 4 – Funcionamento de filtração superficial.....	25
Figura 5 – Exemplos de tanques de cloração	26
Figura 6 – Desinfecção por radiação UV	28
Figura 7 – Ozonização de bancada.....	29
Figura 8 – Fluxograma metodológico.	31
Figura 9 – Localização de Balneário Arroio do Silva em Santa Catarina e na região extremo sul catarinense.	32
Figura 10 - Arroio Central localizado em meio a cidade.	34
Figura 11 - Parque infantil.....	35
Figura 12 - Academia pública	35
Figura 13 - Quadra poliesportiva.....	35
Figura 14 - Área para eventos.....	35
Figura 15 – Disposição do efluente no balneário, saída do efluente (a) e acúmulo na beira mar (b).	36
Figura 16 - Canal fechado do efluente. Canal sobre praça central (a) desaguardo em faixa de areia (b).....	36
Figura 17 - Comparação visual da água do arroio com água potável.....	41
Figura 18 – Possível localização de estação de tratamento. Direita do canal (a) e esquerda do canal (b).....	47

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Informações Gerais de Balneário Arroio do Silva	33
Quadro 2 - Comparativo de balneabilidade em três pontos de Balneário Arroio do Silva	39
Quadro 3 - Vantagens e desvantagens do sistema de Wetland Flutuante	42
Quadro 4 - Vantagens e desvantagens do sistema de filtração superficial.....	43
Quadro 5 - Vantagens e desvantagens do sistema de flotação	44
Quadro 6 – Comparativo entre sistemas de desinfecção	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Eficiência de remoção de um sistema de Flotação por Ar dissolvido.....	23
Tabela 2 - Tipo de esgotamento sanitário por habitante de Balneário Arroio do Silva	33
Tabela 3 – Análise de Balneabilidade do ano de 2018.....	37
Tabela 4 – Análise de Balneabilidade do ano de 2019.....	38
Tabela 5 –Resultado da análise feita no corpo d’água em abril de 2019.	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

RBS - Reator de Batelada Sequencial

DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

SST – Sólidos Suspensos Totais

THM – Trihalometanos

UV – Ultravioleta

E. Coli - Escherichia Coli

IMA – Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina

IDHM – Índice de Desenvolvimento Humano Municipal

BAS - Balneário Arroio do Silva

NBR – Norma Técnica Brasileira

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVOS	16
1.1.1	Objetivo Geral.....	16
1.1.2	Objetivos Específicos	16
2	Revisão bibliográfica	17
2.1	Urbanização litorânea	17
2.2	Tratamento de esgoto.....	18
2.2.1	Wetland Flutuante	20
2.2.2	Flotação por ar dissolvido	22
2.2.3	Filtração superficial.....	24
2.3	Desinfecção.....	25
2.3.1	Desinfecção por cloro	25
2.3.2	Desinfecção por radiação UV	27
2.3.3	Desinfecção por ozonização	28
2.4	Balneabilidade	29
3	Metodologia	30
3.1.1	Caracterização da pesquisa	31
4	resultados e Discussão	32
4.1	Análise socioambiental de Balneário Arroio do Silva.....	32
4.1.1	Balneabilidade do Local	37
4.2	Alternativas de tratamento	41
4.2.1	Wetland Flutuante	41
4.2.2	Filtração Superficial	42
4.2.3	Flotação por ar dissolvido	43
4.3	Alternativas de desinfecção	44
4.4	Alternativas de Locação do sistema de tratamento.....	46
4.4.1	Tratamento escolhido	47
4.4.2	Sistema de Desinfecção Escolhido	48
5	Conclusão	49
	REFERÊNCIAS.....	50

1 INTRODUÇÃO

A quantidade de pessoas que vivem em zonas rurais está ficando menor a cada ano. Essa crescente urbanização ocorre de maneira desenfreada, sem preocupação com o meio em que vivemos, esgotando os recursos naturais disponíveis e saturando muitos dos sistemas presentes.

Uma das áreas que mais sofre com os impactos da urbanização é a região litorânea. A zona costeira, em relação ao conjunto de terras, configura-se num espaço com especificidades e vantagens locacionais, finito e relativamente escasso. Do ponto de vista global, os terrenos à beira-mar constituem pequena fração dos estoques territoriais disponíveis, o que qualifica o espaço litorâneo como raro, e a localização litorânea como privilegiada. Em termos de biodiversidade, a zona costeira inclui quadros naturais de grande relevância ecológica, constituindo-se em importante fonte de recursos (BORELLI, 2007).

A cidade de Balneário Arroio do Silva é uma das cidades que sofrem com essa condição. Por ser a maior praia em extensão de Santa Catarina, com 22 km de costa, a cidade é toda ocupada visando a proximidade com a praia. No ponto central da cidade localiza-se a foz do arroio que dá nome a cidade. A cidade começou a se desenvolver na década de 30, onde as primeiras famílias estabeleceram residência fixa, com a construção dos primeiros hotéis e estruturas de turismo. Na época o município era um promissor bairro de Araranguá, cidade satélite da região do extremo sul catarinense, até 1995 quando a cidade foi emancipada e tornou-se oficialmente uma cidade. Segundo o censo 2010 feito pelo IBGE, Balneário Arroio do Silva possui 9.586 habitantes. Durante o verão, em época de alta temporada como carnaval e ano novo, a população passa a ter mais de 150 mil habitantes, segundo contagem da Polícia Militar. Esse crescimento esporádico torna difícil o dimensionamento e operação de diversos sistemas básicos como coleta de lixo, abastecimento de água e até mesmo um futuro projeto de coleta de esgoto.

Mesmo com 97,5% da população fazendo o uso de sistema de tratamento de esgotos individual (IBGE, 2010), em 2018, apenas dezesseis das vinte e oito amostragens feitas no ponto central da cidade tiveram índices de coliformes abaixo de 1000. O único período do ano em que o ponto foi considerado próprio para banho em 2018 foi entre junho e outubro, época em que não há turismo na região. Do mesmo jeito o oposto também se confirma, quando há intenso turismo na cidade, épocas de alta temporada, o número de coliformes presentes fica muito acima do permitido por legislação.

Devido aos lançamentos ilegais e contaminação pelo lençol freático o ponto do Arroio Central é o de maior contaminação do município. Por ser um arroio totalmente canalizado não é possível a visualização do mesmo, muito menos sentir o impacto causando por seu forte odor, porém quando desemboca na areia, antes de chegar ao mar, há um forte cheiro e a área é evitada por alguns banhistas conscientes. Segundo o IBGE, o município possui uma média de 1,3 internações a cada mil habitantes, estando acima da média Brasileira.

O objetivo deste trabalho é analisar possíveis tratamentos que visam a melhora da balneabilidade para esse tipo de corpo hídrico e identificar qual possui maior viabilidade de implantação, levando em consideração a eficiência do tratamento e o espaço físico disponível, além da necessidade de manutenção entre os sistemas escolhidos.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Apresentar alternativas para o tratamento do arroio central de Balneário Arroio do Silva para a melhora da balneabilidade do local.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Análise socioambiental da cidade de Balneário Arroio do Silva;
- Comparação de tratamento possíveis e aplicáveis para a melhora da condição de balneabilidade;
- Escolha da melhor opção para o estudo de caso em questão.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 URBANIZAÇÃO LITORÂNEA

A urbanização sem planejamento influencia a qualidade e a quantidade de água recursos de várias maneiras, pois vemos um crescimento populacional em certas áreas sem uma infraestrutura básica, como abastecimento de água, coleta de lixo e coleta de esgoto. Uma população crescente induz a conversão de florestas e zonas úmidas em usos da terra urbana. Globalmente, mais da metade da população agora vive nas cidades, e espera-se que isso alcance 60% até 2030 (FAULKNER et al., 2004; PAUL; MEYER, 2001).

O valor social ou o nível dos serviços ecossistêmicos fornecidos pelos sistemas costeiros é extremamente alto em comparação com muitos outros tipos de ecossistemas em todo o mundo (AGARDY; ALDER, 2005). Durante séculos as populações foram atraídas para corpos d'água devido ao acesso a recursos e serviços, estimulando assim o crescimento dos centros ao longo das costas. Aproximadamente 40% da população mundial vive a menos de 100 km de uma costa, sendo que a população e a carga poluidora estão aumentando rapidamente (CHIU; CHANG; CHANG, 2007). Consequentemente, a maior ameaça para os sistemas costeiros é a pressão sobre o uso da terra (AGARDY; ALDER, 2005).

A Zona Costeira é um espaço complexo que está em constante modificação, resultado da interação de processos naturais, relacionados com a escala temporal e sobre efeitos da ação antrópica. A Zona Costeira apresenta em sua configuração diversos ecossistemas que se alternam entre mangues, praias, campos de dunas, estuários, além de outros ambientes, por isso, se configura como um ambiente de significativa riqueza natural (DIAS; OLIVEIRA, 2013, p. 372).

Esse fato foi estudado por Silva e Silva (2007, p. 28), que afirmaram que “as praias têm sido um dos primeiros ambientes a sofrer diretamente os impactos da expansão das atividades econômicas ligadas ao turismo, recreação e lazer, e do consequente adensamento demográfico”.

Devido a essa urbanização a segurança da água tornou-se uma questão política em algumas regiões (OCDE, 2005) como resultado da mudança da cobertura da terra e da atividade humana intensificada da urbanização (BUTLER; SCHULTZ, 2005; OLIVERA; DEFEE, 2007).

Segundo dados constantes do Plano Nacional de Turismo (Brasil, Ministério do Turismo, 2007), o turismo é o quinto principal produto na geração de divisas em moeda estrangeira no Brasil. Esta atividade movimentou cerca de 180 milhões de pessoas/ano, contabilizados os fluxos nacional e internacional (ARAÚJO; VARGAS, 2015). No entanto, mais que os números, interessam-nos discutir como ocorre esta relação entre a atividade turística e a produção do espaço, ou seja, a sua interferência no ambiente construído e no ordenamento territorial das cidades brasileiras (ARAÚJO; VARGAS, 2015).

O desenvolvimento costeiro pode alterar drasticamente a hidrologia (CRAWFORD, 2007), isso devido aos novos tipos de uso do solo, como impermeabilização, agricultura, etc. Outro fator comum em sociedades hídricas é a contaminação de recursos hídricos, incluindo aumento de nutrientes, sedimentos, bactérias e metais (CHIU; CHANG; CHANG, 2007), reduzindo também a qualidade da água presente. Bactérias de resíduos humanos e animais tendem a aparecerem em maior quantidade em bacias urbanizadas do que bacias florestais (MALLIN et al., 2000; HOLLAND et al., 2004; SCHOONOVER E LOCKABY, 2006; CRIM, 2007; DE LA CRÉTA E BARTEN, 2007; DIDONATO et al. 2009; MALLIN et al., 2009).

2.2 TRATAMENTO DE ESGOTO

Segundo Von Sperling, 2004, existem basicamente duas variantes dos sistemas de esgotamento sanitário:

- Sistema individual ou sistema estático (Solução local, individual ou para poucas residências)
- Sistema coletivo ou sistema dinâmico (Solução com afastamento dos esgotos da área servida)

Os sistemas individuais são soluções locais utilizadas normalmente onde não há grande densidade populacional e há uma boa condição do solo. O sistema individual mais comum utilizado é o conjunto de tanque séptico e sumidouro, onde o tratamento primário é efetuado no interior do tanque séptico e o processo secundário ocorre na disposição no solo. Para o correto funcionamento do sistema individual, há necessidade de afastamento mínimo de 1,5 metros do lençol freático para que o tratamento secundário ocorra de forma correta antes de o efluente alcançar um corpo d'água.

O sistema coletivo é indicado para locais de alta densidade populacional (VON SPERLING, 2004). O sistema coletivo baseia-se na captação de efluentes, com transporte até uma estação de tratamento central onde há o tratamento desses efluentes. Existem duas formas de captação:

o sistema unitário, onde a água da chuva é captada e coletada junto com o efluente; e o sistema separador, onde o efluente e a água de chuva são separados e destinados diferentemente. No Brasil é utilizado o sistema separador onde a quantidade de esgoto se dá pela soma de esgoto doméstico, esgoto industrial e infiltração.

Os métodos de tratamento são divididos em três tipos (METCALF & EDDY, 2016):

Tratamento físico: São processos onde predominam forças físicas. Como muitos desses processos envolvem a observação direta da natureza pelo homem, eles foram os primeiros a serem utilizados para tratamento de esgotos. Alguns exemplos desse tipo de tratamento são peneiramento, floculação, sedimentação, filtração e adsorção.

Tratamento químico: Ocorre quando a remoção dos constituintes é efetuada por meio de compostos químicos. Podemos exemplificar com precipitação química, transferências de gases e desinfecção.

Tratamento biológico: No tratamento biológico a remoção de constituintes é efetuada pela atividade biológica. O tratamento biológico elimina, em sua maioria, substâncias orgânicas biodegradáveis coloidais ou dissolvidas. Basicamente essas substâncias são transformadas em gases que são liberados para a atmosfera ou em tecido celular biológico que pode ser removido com sedimentação. O tratamento biológico também é responsável pela remoção de nitrogênio e fósforo presente no esgoto. É responsabilidade do engenheiro projetar um sistema que propicie condição adequada para o tratamento ocorrer da melhor forma possível.

A resolução do CONAMA nº 357 define três tipos de tratamento de água/esgoto. O primeiro deles é o tratamento simplificado, onde ocorre apenas filtração e desinfecção. Outro tratamento definido pela resolução é o tratamento convencional, onde a clarificação é feita através de coagulação e floculação, utilizando tanto processos químicos quanto físicos, seguido de desinfecção. O mais completo tratamento é chamado de tratamento avançado, em que são removidos constituintes refratários do processo convencional de tratamento, como por exemplo cor, odor, sabor, atividade tóxica ou patogênica.

2.2.1 Wetland Flutuante

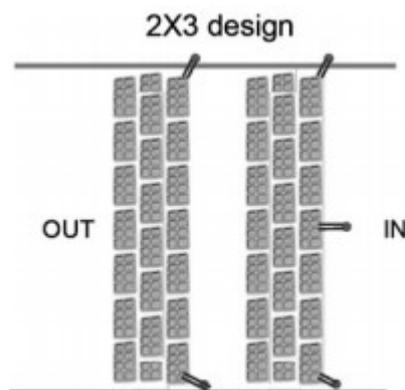
Os sistemas tipo *constructed wetlands*, traduzido literalmente como terras úmidas construídas, são sistemas naturais de tratamento de efluentes empregados, atualmente, em todas as partes do globo terrestre. Possuem maior aplicação como tratamento secundário e/ou polimento de esgotos domésticos em áreas periféricas aos centros urbanos e áreas rurais, como tratamento de águas de chuva, tratamento de efluentes da agroindústria e no tratamento do lodo oriundo de unidades de tratamento de esgotos domésticos (KADEC e KNIGHT, 1996; IWA, 2000; LIÉNARD, 2005; SEZERINO, 2006).

Conhece-se sistema wetland por ser um sistema de tratamento prático e eficiente, com pouca manutenção. Em um wetland a água, o solo e os vegetais formam um ecossistema equilibrado, degradando a matéria orgânica, reciclando os nutrientes e consequentemente, melhorando a qualidade de vida (ANJOS, 2013).

No caso do wetland flutuante o mesmo acontece, a diferença é que os vegetais não se encontram fixados em terra e sim em espaços flutuantes captando nutrientes diretamente da água.

Stefani; 2011, elaborou um estudo em condições semelhantes onde diversos layouts de wetlands flutuantes possíveis foram testados e tiveram sua eficiência medida. O estudo concluiu que o layout com maior eficiência é composto por dois barramentos com três fileiras de filtros plantados alternados, como mostrado na Figura 1. Além disso, constatou-se que é necessário barramento no fluxo de água para garantir a diminuição de velocidade e uma lâmina de água mínima de 50 centímetros.

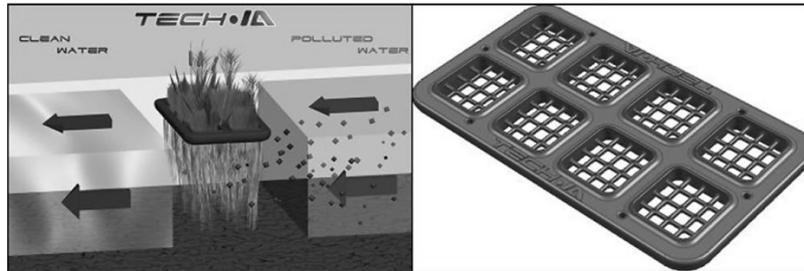
Figura 1 – Disposição de wetland Flutuante.



Fonte: (STEFANI et al., 2011).

As estruturas colocadas são peças poliméricas com 1,7 kg. Essas peças podem sustentar peso de até 20 kg. O tamanho de cada peça é de 50 cm de largura por 90 cm de comprimento, como mostra a Figura 2.

Figura 2 - Funcionamento e modelo de grades poliméricas.



Fonte: (STEFANI et al., 2011).

As peças poliméricas devem ser presas por cabos para evitar o deslocamento e manter a distância programada entre as suas seções.

Quanto ao tipo de vegetação, no estudo de Stefani et al., 2011, utilizou-se diversas espécies, sendo a maioria delas *Chrysopogon zizanioides*, que posteriormente foram sendo substituídas por *Typha latifolia* e *Sparganium erectum*. Foram plantadas em média 16 plantas por m² de wetland flutuante.

Caso no corpo de água estudado haja passagem de peixes é necessário a construção de um canal de passagem migratória dos mesmos.

Com a implantação desse processo, espera-se que haja remoção de 52% de DBO e 66% de DQO no corpo de água. Esses foram os valores encontrados por STEFANI et al., 2011, utilizando o mesmo sistema de tratamento para um corpo de água em condições semelhantes ao encontrado na cidade de Balneário Arroio do Silva.

Apesar de ser um tratamento com baixo impacto e baixo custo, esse tratamento também possui algumas desvantagens. Algumas delas são:

- Frequente necessidade de manutenção da vegetação, devido ao seu crescimento;
- Necessidade de gradeamento e limpeza de gradeamento para evitar danos a estrutura;

•Baixa eficiência em grandes vazões.

2.2.2 Flotação por ar dissolvido

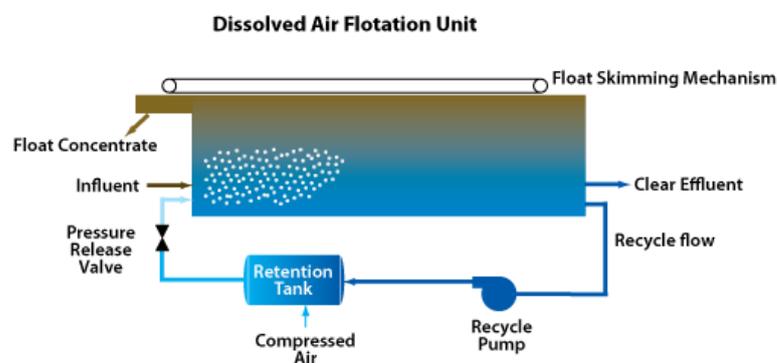
A flotação é definida como um processo de remoção de partículas, no qual ocorre a introdução de microbolhas de ar que, quando em contato com as partículas, formam um aglomerado partícula-bolha de densidade aparente menor que o da água, que tende a flutuar até a superfície do tanque de flotação, onde é removido (LACERDA et al.,1998).

Há quatro processos envolvidos na flotação; (1) geração de bolhas de tamanho adequado, (2) ligação das bolhas ao material a ser flotado, (3) separação sólido/líquido ou líquido/líquido, (4) remoção do sobrenadante (TEIXEIRA, 2003).

O tratamento envolve coagulação e aglomeração de sólidos e emulsões de óleo, flotando-se o floco resultante, com auxílio do empuxo proporcionado pela aderência de microbolhas de ar. Durante o processo, produtos químicos como sais de ferro, alumínio, sílica ativada, polímeros catiônicos ou aniônicos são adicionados para alterar as cargas da superfície das partículas, possibilitando a formação dos flocos (TEIXEIRA, 2003).

Observa-se que podem ser utilizadas válvulas adaptadas para captar apenas a vazão estipulada e quando essa vazão for ultrapassada o sistema não irá operar. A água captada por essas válvulas entrará em câmaras separadas onde passará pelo processo de flotação e desinfecção. Um sistema de flotação por ar dissolvido funciona como apresenta-se na Figura 3.

Figura 3 – Funcionamento de um sistema de flotação por ar dissolvido.



Fonte: HGMA Water Project, 2016.

Segundo Brito, 2016, a eficiência da flotação por ar dissolvido pode variar de acordo com a dosagem de coagulante usada no processo. Em seu estudo ele utilizou uma concentração de

policloreto de alumínio de 50 mg/L, 75 mg/L e 100 mg/L e obteve as seguintes eficiências mostradas na Tabela 1 em um sistema alimentado por uma lagoa facultativa:

Tabela 1- Eficiência de remoção de um sistema de Flotação por Ar dissolvido

Coagulante	ph	Taxa de Recirculação	Tempo de Floculação (min)	DQO	SS	Turbidez	Cor
50	7	10	10	57%	52%	70%	58%
	7	20	20	50%	51%	67%	61%
	7	30	15	46%	46%	73%	59%
	7,5	10	20	49%	49%	66%	56%
	7,5	20	15	41%	45%	59%	57%
	7,5	30	10	53%	59%	4%	52%
	8	10	15	42%	46%	34%	56%
	8	20	10	49%	53%	72%	57%
	8	30	20	41%	30%	66%	57%
75	7	10	20	84%	61%	81%	81%
	7	20	15	64%	45%	77%	69%
	7	30	10	56%	26%	57%	74%
	7,5	10	15	77%	77%	76%	87%
	7,5	20	10	43%	58%	72%	67%
	7,5	30	20	58%	58%	80%	70%
	8	10	10	73%	63%	59%	70%
	8	20	20	58%	41%	41%	70%
	8	30	15	62%	82%	80%	85%
100	7	10	15	76%	77%	78%	82%
	7	20	10	63%	74%	88%	82%
	7	30	20	83%	71%	89%	84%
	7,5	10	10	64%	70%	73%	78%
	7,5	20	20	62%	66%	82%	77%
	7,5	30	15	77%	73%	77%	83%
	8	10	20	70%	56%	58%	72%
	8	20	15	61%	66%	86%	78%
	8	30	10	48%	55%	48%	70%

Fonte: BRITO, 2016.

Observa-se que há grande variação de eficiência alterando alguns parâmetros, o que nos mostra a importância do ensaio de jarteste para o correto dimensionamento do sistema e da obtenção da eficiência desejada.

As principais vantagens desse sistema são:

- Instalação compacta, visto que o mesmo será instalado em praça pública;
- Baixo consumo de energia, visto que não é necessária a utilização de compressor de ar;
- Possibilita operação intermitente;
- Alta remoção de carga orgânica, óleos e sólidos suspensos;
- Pouca geração de lodo devido a eficiência do adensamento.

2.2.3 Filtração superficial

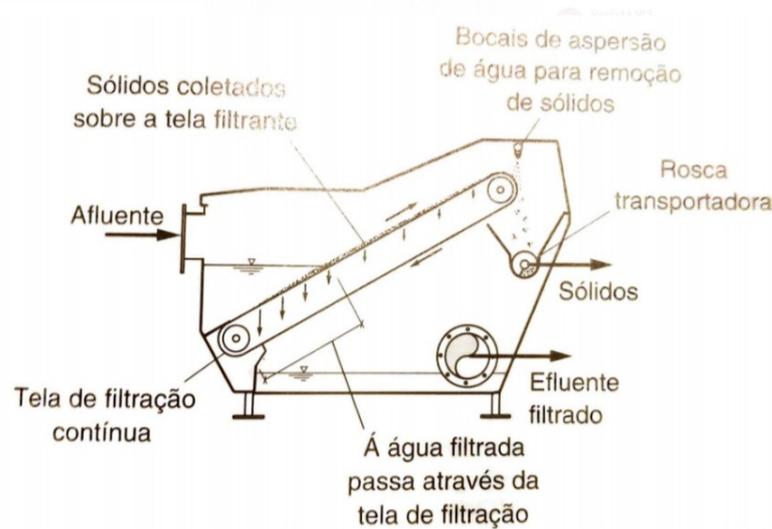
A filtração superficial envolve a remoção do material particulado em suspensão presente em corrente líquida por retenção mecânica, passando-se o líquido através de uma malha ou de uma tela de filtração (METCALF; EDDY, 2016).

Existem diversos tipos de filtros de superfície, os mais comuns são: filtro rotativo em tecido, filtro de tecido tipo diamante, filtro tipo disco, *ultrascreen*, filtro tipo tambor, filtro tipo telha inclinado e filtro tipo cartucho.

Um dos filtros superficiais mais utilizados é o filtro tipo tela inclinado. Desenvolvido pela M2 *Renewables*, o filtro tipo tela inclinado é utilizado para a filtração de efluentes brutos. À medida que a tela móvel gira, os sólidos são acumulados sobre a superfície do meio filtrante. Quando a tela deixa a região de entrada de efluente, ocorre a remoção de água pela ação da gravidade. Os sólidos acumulados são removidos da tela quando ela muda de direção ao passar pelo suporte superior. Jatos de água também podem ser utilizados para remover os sólidos (METCALF; EDDY, 2016). Esse tipo de filtro pode ser usado em substituição ao sistema de clarificação primário.

Na Figura 4 demonstra-se o funcionamento do filtro de tela inclinado. Vemos que o filtro possui saída para o efluente tratado e para os sólidos removidos.

Figura 4 – Funcionamento de filtração superficial.



Fonte: (METCALF & EDDY, 2016).

Quanto ao desempenho do filtro superficial, foi constatado por Riess et al., 2001, e Olivier et al., 2003, que os filtros superficiais obtêm eficiência igual ou superior aos filtros de meio granular. Constata-se redução de turbidez e do número e tamanho de partículas, operando com maiores taxas de aplicação e menor consumo de água para retrolavagem.

Para a obtenção do modelo bem dimensionado é recomendado um estudo em escala piloto. Informações importantes devem ser coletadas como variabilidade das características do efluente a ser filtrado e quantidade de água de contralavagem necessária para a operação normal da unidade de filtração. A quantidade necessária de água de contralavagem é função da concentração de SST no efluente e da carga de sólidos aplicada ao filtro (METCALF ; EDDY, 2016).

2.3 DESINFECÇÃO

2.3.1 Desinfecção por cloro

O uso de cloro na desinfecção da água iniciou-se com a aplicação do hipoclorito de sódio (NaOCl), obtido pela decomposição eletrolítica do sal (MEYER, 1994).

Inicialmente, o cloro era empregado na desinfecção de águas somente em casos de epidemias. A partir de 1902, a cloração foi adotada de maneira contínua na Bélgica.

Para a desinfecção de água é comum a utilização de hipoclorito de sódio, que se apresenta em estado líquido em temperaturas ambiente. Devido as reações químicas com a água formando ácido hipocloroso, ele apresenta características desinfetante e bactericida.

Apesar de ser um sistema bem simples, o mesmo necessita de um tanque para manter o tempo de contato do efluente com o produto, o que faz necessário espaço de armazenamento. Além disso, há o risco da geração de Trihalometanos. Na Figura 5 temos exemplos de caixas de cloração e sua dimensão para manter o tempo de contato necessário.

Figura 5 – Exemplos de tanques de cloração



Fonte: Casa da Cisterna, 2019

Trihalometanos são substâncias que são formadas a partir do contato do cloro com material orgânico. A relação entre o uso de cloro nas estações de tratamento de água, suas reações com os compostos orgânicos presentes e a formação de compostos que poderiam ter efeitos negativos sobre a saúde humana foi estudada pela primeira vez por R. H. Harris, na década de 70 (SANTOS, 1987). A partir de suas indicações pioneiras sobre a possibilidade de existir uma correlação entre águas de abastecimento e câncer, outros pesquisadores passaram a estudar o assunto, como Rook, na Holanda, e Bellar, Litchtemberg & Kronen, nos Estados Unidos (MEYER, 1994).

Além da formação de Trihalometanos ainda há possibilidade de cloro residual no sistema. Quando estamos falando de tratamento de água a legislação brasileira exige cloro residual, porém quando estamos falando na cloração de um sistema onde a água será novamente disposta

no solo ou em algum corpo hídrico é necessário cautela para não haver excessos pois esse excesso pode gerar danos ao ecossistema.

2.3.2 Desinfecção por radiação UV

O Processo de radiação UV é a combinação de uma dose de radiação com qualidade da água, com objetivo de inativar as bactérias. A radiação é produzida em um comprimento de onda específico por lâmpadas UV e com a passagem de efluente entre essas lâmpadas causa a inativação dos microrganismos.

O sistema de radiação UV utilizado para desinfecção apresenta algumas vantagens sobre o processo tradicional de cloração:

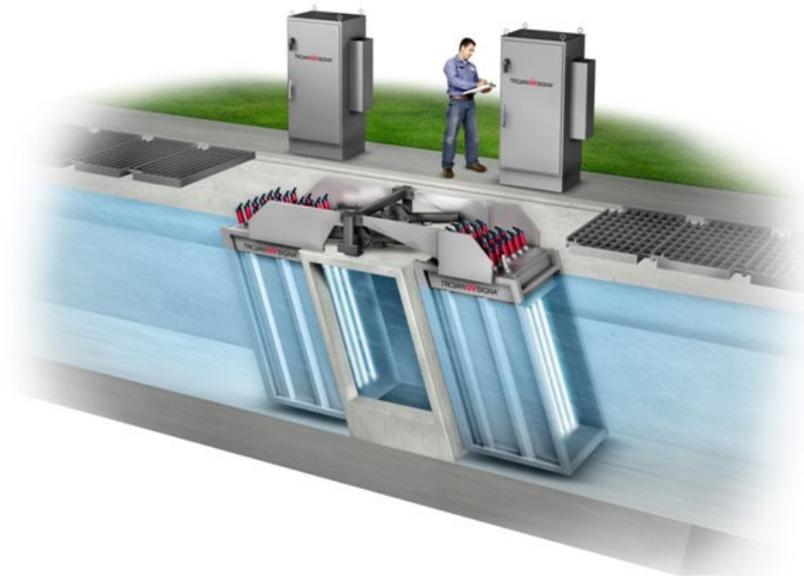
- Não apresenta subprodutos;
- Não é corrosivo e não apresenta dano nas tubulações;
- Não necessita de estoque de produtos químicos;
- Menor chance de acidentes de trabalho.

Uma desvantagem do sistema UV é seu custo de implantação, visto que muitas das lâmpadas UV hoje presentes no Brasil necessitam de importação, o que gera um alto custo. Além disso, o sistema apresenta alto custo energético devido a potência das lâmpadas. Essa última característica é muito importante levando em conta o alto custo elétrico que temos no Brasil.

Segundo Wnlfe; Po, 1990, é necessário uma dosagem de $3000 \mu\text{W}\cdot\text{s}/\text{cm}^2$ para tornar 90% do E. coli presente, inativo. Portanto baseando-se nesses valores é possível um cálculo de custo energético e capacidade instalada do sistema.

Uma configuração que é muito utilizada quando usamos a desinfecção por UV é a configuração de fluxo contínuo, o mesmo é exemplificado na Figura 6. Esse tipo de sistema tem como característica a utilização de lâmpadas de alta intensidade, o que representa maior consumo energético com maior eficiência germicida. As lâmpadas de baixa pressão e alta intensidade tem uma faixa de consumo de energia de 200 a 500 watts, já as lâmpadas de média pressão e alta intensidade tem um consumo de 1.000 a 13.000 watts (METCALF; EDDY, 2016).

Figura 6 – Desinfecção por radiação UV



Fonte: Trojan UV, 2019

Após o tratamento primário e desinfecção por UV, há uma redução aproximada de 95% de *E. coli* presente na água, fator que define um ponto como balneável ou não, tornando o ponto atrativo para turistas novamente.

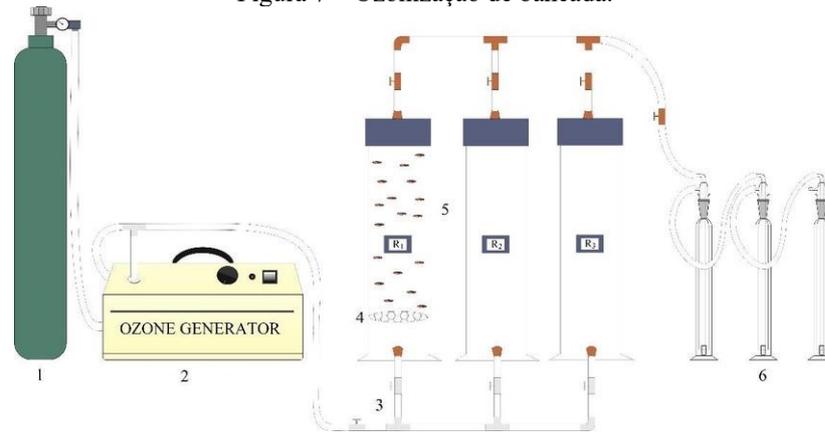
2.3.3 Desinfecção por ozonização

Segundo Metcalf & Eddy, 2016, o ozônio é um oxidante extremamente reativo. Geralmente a inativação das bactérias por ozônio ocorre pela desintegração da parede celular, também chamada de lise celular. A eficiência do seu tratamento não é afetada pelo pH da água, porém é observado a presença de ozônio residual em condições ácidas, por isso algumas vezes se faz necessário uma correção de pH em pré desinfecção.

O reator de ozonização é normalmente construído em três câmaras, em que apenas na primeira ou na primeira e na segunda ocorre a devida injeção de ozônio, o restante funciona apenas como câmara de contato.

Para o dimensionamento do sistema de ozonização, primeiramente é construído um sistema de bancada (Figura 7), em que a amostra do efluente coletado são feitas medições para a definição de quanto de ozônio é necessário para uma efetiva desinfecção.

Figura 7 – Ozonização de bancada.



Fonte: Rearch Gate, 2019

Assim como o cloro existem alguns subprodutos que são gerados com a utilização de ozônio. Esses subprodutos são gerados quando o efluente contém compostos orgânicos ou inorgânicos específicos. Esses compostos residuais poderiam ser removidos por algum processo como filtro biológico ou disposição no solo.

O sistema exige energia elétrica, visto que é necessário equipamento para a transformação de oxigênio em ozônio. Segundo Rakness, 2005, o sistema de ozonização exige:

- Instalações para a preparação do gás de alimentação
- Fonte de Energia
- Instalação para geração de ozônio
- Unidade para contato do ozônio com o efluente
- Instalação para a destruição do ozônio no gás de exaustão

Segundo a Organização Americana de Saúde e a Segurança Ocupacional é necessário a destruição do gás ozônio no ar também no gás de exaustão, com objetivo de prevenir a corrosão de equipamento e tubulações.

2.4 BALNEABILIDADE

A normativa que regula a balneabilidade no Brasil é a resolução CONAMA nº 274, de 29 de novembro de 2000. A resolução estabelece parâmetros para águas salinas, salobras e doces,

além de definições como *Escherichia Coli*, *Enterococos*, etc. A resolução também expõe as classes em que o corpo d'água pode ser classificado, própria ou imprópria.

As águas próprias podem ser classificadas em três classes:

- Excelente: quando em 80% ou mais de um conjunto de amostras obtidas em cada uma das cinco semanas anteriores, colhidas no mesmo local, houver, no máximo, 250 coliformes fecais (termotolerantes) ou 200 *Escherichia coli* ou 25 enterococos por 100 mililitros;
- Muito Boa: quando em 80% ou mais de um conjunto de amostras obtidas em cada uma das cinco semanas anteriores, colhidas no mesmo local, houver, no máximo, 500 coliformes fecais (termotolerantes) ou 400 *Escherichia coli* ou 50 enterococos por 100 mililitros;
- Satisfatória: quando em 80% ou mais de um conjunto de amostras obtidas em cada uma das cinco semanas anteriores, colhidas no mesmo local, houver, no máximo 1.000 coliformes fecais (termotolerantes) ou 800 *Escherichia coli* ou 100 enterococos por 100 mililitros.

A qualidade da água é considerada imprópria quando as seguintes ocorrências forem notadas:

- Não atendimento aos critérios estabelecidos para as águas próprias;
- Valor obtido na última amostragem for superior a 2500 coliformes fecais (termotolerantes) ou 2000 *Escherichia coli* ou 400 enterococos por 100 mililitros;
- Incidência elevada ou anormal, na região, de enfermidades transmissíveis por via hídrica, indicada pelas autoridades sanitárias;
- Presença de resíduos ou despejos, sólidos ou líquidos, inclusive esgotos sanitários, óleos, graxas e outras substâncias, capazes de oferecer riscos à saúde ou tornar desagradável a recreação;
- pH < 6,0 ou pH > 9,0 (águas doces), à exceção das condições naturais;
- Floração de algas ou outros organismos, até que se comprove que não oferecem riscos à saúde humana;
- Outros fatores que contraindiquem, temporária ou permanentemente, o exercício da recreação de contato primário.

Não há nenhum tipo de indicação em relação a poluição da areia da praia ou mesmo poluição atmosférica, apesar de ser citado na resolução que esse tipo de amostragem é recomendado.

3 METODOLOGIA

A primeira etapa do presente trabalho constitui-se na caracterização da cidade de Balneário Arroio do Silva, contemplando levantamento da área, histórico de ocupação, características socioeconômicas do município e situação da balneabilidade da praia. A partir dessa análise será

possível entender as necessidades do local e definir qual região é a mais indicada a receber tratamento de efluentes. O local de implantação do projeto localiza-se na cidade de Balneário Arroio do Silva, em um corpo d'água que se denomina Arroio Central da cidade, ponto da costa onde há maior fluxo de pessoas e onde há o arroio que dá nome ao município.

Em seguida, os tratamentos apresentados previamente na revisão bibliográfica serão discutidos quanto a aplicabilidade na região estudada. Os sistemas de tratamento que serão analisados são flotação por ar dissolvido, filtração superficial com filtro tela inclinado e wetland flutuante. Para os sistemas de desinfecção serão analisados o sistema de cloração convencional, o sistema de desinfecção UV com reator fechado e sistema de ozonização. A partir de características como custo de implantação, manutenção necessária, eficiência de tratamento, taxa de remoção de nutrientes, foram selecionadas das três, possível alternativas para tratamento do efluente.

Para a definição da melhor alternativa, foram comparadas as três opções de tratamento e as três opções de desinfecção. Entre eles foi escolhido o conjunto que apresentava maior remoção dos nutrientes necessários para a balneabilidade, além de apresentar baixa necessidade de manutenção e baixo custo de implantação. Considerou-se também a adequação do tratamento no local, visto que mesmo que algum tipo de tratamento apresente maior eficiência no efluente tratado, há alguns aspectos construtivos, visuais e impactos na qualidade de vida da população local que foram levados em consideração. A Figura 8 apresenta o fluxograma metodológico do estudo.



Fonte: Autor

3.1.1 Caracterização da pesquisa

A presente pesquisa classifica-se como uma pesquisa exploratória. Segundo Zanella (2009), esse tipo de pesquisa visa ampliar o conhecimento a respeito de um determinado fenômeno, e apesar de aparentemente simples, explora a realidade buscando maior conhecimento, para depois planejar uma pesquisa descritiva.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISE SOCIOAMBIENTAL DE BALNEÁRIO ARROIO DO SILVA

Balneário Arroio do Silva é uma cidade litorânea do extremo sul de Santa Catarina. Sua economia está muito ligada ao turismo de veraneio. Pode-se observar sua localização no estado de Santa Catarina e na região do extremo sul Catarinense na Figura 9.

Figura 9 – Localização de Balneário Arroio do Silva em Santa Catarina e na região extremo sul catarinense.



Fonte: Atlas, 2019.

Segundo o censo do IBGE de 2017, o município possui 12.344 habitantes. Porém a estimativa é que em períodos de alta lotação como réveillon e carnaval a população alcance 150 mil habitantes. A cidade está no nível do mar, visto que é uma cidade balneária. Apesar de possuir grande área, o crescimento da cidade desenvolve-se a partir da costa, sendo assim uma cidade com grande comprimento, visto isso é a maior praia de Santa Catarina com 22 km de extensão. Por esse motivo a instalação de rede coletora de esgotos se torna onerosa, visto que a densidade demográfica é baixa, e necessário a instalação de extensas redes de coleta de esgoto para o atendimento de poucos habitantes, o que acaba tornando-se desinteressante para a empresa de saneamento responsável, que no caso de Balneário Arroio do Silva é privada e visa lucro na sua operação. Podemos ver alguns dados gerais de Balneário Arroio do Silva no Quadro 1.

Quadro 4.1: Informações Gerais de Balneário Arroio do Silva

Informações de BAS		
População (2010)	9.586	Habitantes
Densidade demográfica (2010)	100,63	hab/hm ²
Salário Médio dos trabalhadores Formais (2017)	1,8	Salários Mínimos
População ocupada (2017)	12,20%	-
Taxa de Escolarização (2010)	98,10%	
PIB Per Capita (2016)	11.921,26	R\$
IDHM (2010)	0,746	-
Internações por Diarréia (2016)	1,3	Internações por mil habitantes
Esgotamento Sanitário Adequado (2010)	97,50%	-

Fonte: IBGE, 2019.

Segundo o IBGE, 2016, o setor que mais movimenta capital é o de serviços, com aproximadamente 61 milhões. O Setor da agropecuária movimenta aproximadamente 14 milhões e a indústria 12 milhões. Boa parte da movimentação de capital de serviços está ligada ao turismo local, visto que a população costuma aumentar no período de veraneio. Junto a isso os comerciantes locais aproveitam o bom movimento em suas lojas, restaurantes, hotéis, etc. Por esse motivo é importante a balneabilidade da praia para que seja uma atração para o turismo, além de ser importante para a saúde pública, visto a alta quantidade de turistas eu tem contato com o arroio central.

Devido à ausência de rede coletora de esgoto, a grande maioria das residências possui como sistema de tratamento o sistema de fossa séptica e sumidouro, como mostra a Tabela 2. Porém devido ao lençol freático da região o sistema torna-se ineficaz, visto que não são seguidos os direcionamentos fornecidos pela NBR 7229 que afirma a necessidade de um distanciamento mínimo de 1,5 m de distância entre a saída do sumidouro e o lençol freático.

Tabela 2 - Tipo de esgotamento sanitário por habitante de Balneário Arroio do Silva

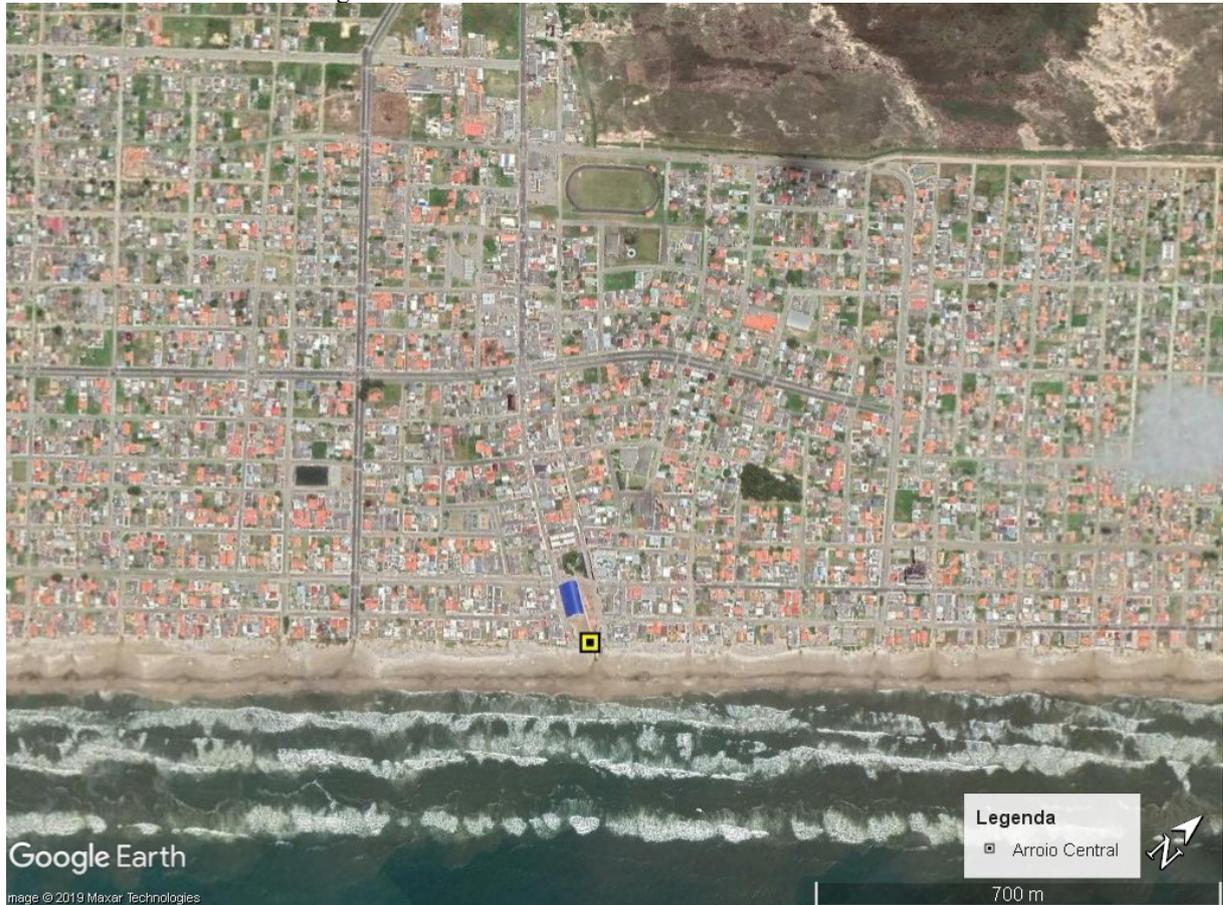
	Rede geral de esgoto ou pluvial	Fossa séptica	Fossa rudimentar	Vala	Não tem instalação sanitária	Total
Habitantes	157	9.148	196	8	34	9.543

DATASUS, 2019.

No centro do município existe um corpo hídrico que dá nome a cidade, que é chamado de Arroio central. O Arroio central é responsável pela drenagem pluvial da parte central da cidade, assim acaba sendo contaminado pelas fossas sépticas construídas irregularmente. Pode-se observar

que o corpo d'água percorre grande parte da zona urbana da cidade até ser disposto na beira da praia, como mostrado na Figura 10.

Figura 10 - Arroio Central localizado em meio a cidade.



Fonte: Google Earth, 2019.

Hoje o Arroio central é canalizado e coberto, e a região que já foi sua planície de inundação hoje é uma praça pública, dispondo de diversos aparatos urbanos como parque infantil, quadra poliesportiva e arena para shows, como mostrado na Figura 11, Figura 12, Figura 13 e Figura 14.

Figura 11 - Parque infantil



Fonte: Autor, 2019.

Figura 12 - Academia pública



Fonte: Autor, 2019.

Figura 13 - Quadra poliesportiva



Fonte: Autor, 2019.

Figura 14 - Área para eventos



Fonte: Autor, 2019.

Na Figura 15 pode-se observar o canal coberto que transporta o arroio central até a beira mar de Balneário Arroio do Silva. Na Figura 16 demonstra-se como foi feita a canalização do corpo d'água, evitando ao máximo o contato com o público e mascarando as condições do efluente para o público geral.

Figura 15 – Disposição do efluente no balneário, saída do efluente (a) e acúmulo na beira mar (b).



(a)



(b)

Fonte: Autor

Figura 16 - Canal fechado do efluente. Canal sob praça central (a) desaguando em faixa de areia (b).



(a)



(b)

Fonte: Autor

4.1.1 Balneabilidade do Local

No ano de 2018, 22 de 28 coletas em que foram feitas análises da água, foram consideradas impróprias, segundo dados de balneabilidade fornecida pelo IMA em 2019. Sendo que em 6 dessas amostras o valor de coliformes atingiu o teto da análise de 16 mil E.coli/100 ml, como pode-se observar na Tabela 3.

Tabela 3 – Análise de Balneabilidade do ano de 2018.

Data	E.coli NMP*/100ml	Condição
26/12/2018	230	IMPRÓPRIA
17/12/2018	16000	IMPRÓPRIA
10/12/2018	230	IMPRÓPRIA
03/12/2018	230	IMPRÓPRIA
26/11/2018	5000	IMPRÓPRIA
19/11/2018	230	IMPRÓPRIA
12/11/2018	16000	IMPRÓPRIA
05/11/2018	5000	IMPRÓPRIA
22/10/2018	300	PRÓPRIA
24/09/2018	300	PRÓPRIA
27/08/2018	300	PRÓPRIA
16/07/2018	500	PRÓPRIA
27/06/2018	300	PRÓPRIA
21/05/2018	300	IMPRÓPRIA
25/04/2018	500	IMPRÓPRIA
26/03/2018	3000	IMPRÓPRIA
19/03/2018	300	IMPRÓPRIA
12/03/2018	5000	IMPRÓPRIA
05/03/2018	1700	IMPRÓPRIA
26/02/2018	3000	IMPRÓPRIA
19/02/2018	16000	IMPRÓPRIA
14/02/2018	16000	IMPRÓPRIA
05/02/2018	2400	IMPRÓPRIA
30/01/2018	230	IMPRÓPRIA
23/01/2018	16000	IMPRÓPRIA
15/01/2018	3000	IMPRÓPRIA
08/01/2018	16000	IMPRÓPRIA
04/01/2018	230	PRÓPRIA

Fonte: IMA, 2018

Como todos os anos, em 2019 também foram feitas análises no mesmo local. O diagnóstico é o mesmo, porém no ano de 2019 mesmo nos períodos de baixa temporada a condição imprópria se manteve como padrão. Isso demonstra uma piora na condição do saneamento do município, podendo haver mais ligações ilegais sendo feitas ou religadas nos períodos de baixa fiscalização municipal. Podemos notar uma sequência de 8 meses com a qualidade da água sendo considerada imprópria, como é visto na Tabela 4.

Tabela 4 – Análise de Balneabilidade do ano de 2019

Data	E.Coli NMP*/100ml	Condição
23/09/2019	800	IMPRÓPRIA
26/08/2019	700	IMPRÓPRIA
29/07/2019	1700	IMPRÓPRIA
24/06/2019	3000	IMPRÓPRIA
29/05/2019	800	IMPRÓPRIA
22/04/2019	3000	IMPRÓPRIA
25/03/2019	230	IMPRÓPRIA
18/03/2019	2400	IMPRÓPRIA
11/03/2019	500	IMPRÓPRIA
06/03/2019	9000	IMPRÓPRIA
25/02/2019	230	IMPRÓPRIA
18/02/2019	9000	IMPRÓPRIA
11/02/2019	2400	IMPRÓPRIA
04/02/2019	2400	IMPRÓPRIA
28/01/2019	500	PRÓPRIA
21/01/2019	9000	IMPRÓPRIA
14/01/2019	500	PRÓPRIA
07/01/2019	230	PRÓPRIA
02/01/2019	230	PRÓPRIA

Fonte: IMA, 2019

Para mensurar o impacto poluidor que o arroio central tem, no Quadro 4.2 foi exposto o relatório de balneabilidade de 3 pontos da cidade de Balneário Arroio do Silva durante todo o ano de 2018. Os 3 pontos amostrados são o arroio central, um ponto 100 metros ao sul do arroio central e outro ponto 100 metros ao norte do arroio central. Nota-se o impacto poluidor que o arroio central possui, pois mesmo com as análises nas mesmas datas, o ponto analisado foi considerado impróprio para banho em grande parte do ano de 2018, enquanto os outros dois anos apresentaram quase que todo o período de boa qualidade de água.

Quadro 4.2 - Comparativo de balneabilidade em três pontos de Balneário Arroio do Silva

Data	100 metros ao sul do Arroio Central	Arroio Central	100 metros ao norte do Arroio Central
26/12/2018	PRÓPRIA	IMPRÓPRIA	PRÓPRIA
17/12/2018	PRÓPRIA	IMPRÓPRIA	PRÓPRIA
10/12/2018	PRÓPRIA	IMPRÓPRIA	PRÓPRIA
03/12/2018	PRÓPRIA	IMPRÓPRIA	PRÓPRIA
26/11/2018	PRÓPRIA	IMPRÓPRIA	PRÓPRIA
19/11/2018	PRÓPRIA	IMPRÓPRIA	PRÓPRIA
12/11/2018	PRÓPRIA	IMPRÓPRIA	PRÓPRIA
05/11/2018	PRÓPRIA	IMPRÓPRIA	PRÓPRIA
22/10/2018	PRÓPRIA	PRÓPRIA	PRÓPRIA
24/09/2018	PRÓPRIA	PRÓPRIA	PRÓPRIA
27/08/2018	PRÓPRIA	PRÓPRIA	PRÓPRIA
16/07/2018	PRÓPRIA	PRÓPRIA	PRÓPRIA
27/06/2018	PRÓPRIA	PRÓPRIA	PRÓPRIA
21/05/2018	PRÓPRIA	IMPRÓPRIA	PRÓPRIA
25/04/2018	PRÓPRIA	IMPRÓPRIA	PRÓPRIA
26/03/2018	PRÓPRIA	IMPRÓPRIA	PRÓPRIA
19/03/2018	PRÓPRIA	IMPRÓPRIA	PRÓPRIA
12/03/2018	PRÓPRIA	IMPRÓPRIA	PRÓPRIA
05/03/2018	PRÓPRIA	IMPRÓPRIA	PRÓPRIA
26/02/2018	PRÓPRIA	IMPRÓPRIA	PRÓPRIA
19/02/2018	PRÓPRIA	IMPRÓPRIA	PRÓPRIA
14/02/2018	PRÓPRIA	IMPRÓPRIA	PRÓPRIA
05/02/2018	PRÓPRIA	IMPRÓPRIA	PRÓPRIA
30/01/2018	PRÓPRIA	IMPRÓPRIA	PRÓPRIA
23/01/2018	IMPRÓPRIA	IMPRÓPRIA	PRÓPRIA
15/01/2018	PRÓPRIA	IMPRÓPRIA	PRÓPRIA
08/01/2018	PRÓPRIA	IMPRÓPRIA	PRÓPRIA
04/01/2018	PRÓPRIA	PRÓPRIA	PRÓPRIA

Fonte: IMA, 2018.



Figura 17- Pontos de análise de Balneabilidade do IMA, 2019.

Uma análise foi feita na água do arroio central no dia dezoito de abril de 2019 e os parâmetros encontram-se na Tabela 5:

Tabela 5 – Resultado da análise feita no corpo d’água em abril de 2019.

Parâmetro	Resultado	Max. Permitido
DBO (mg/L)	7,18	5
Turbidez (UT)	23,4	100
Fósforo Total (mg/L)	0,22	0,1
Colif. Termotolerantes (NMP/100ml)	$1,5 \times 10^2$	1×10^3
Nitrogênio Total (mg/L)	0,84	Não encontrado
Cor Aparente (UH)	17	75

Fonte: Laboratório H20, 2019.

Tal resultado não apresenta muita significância, pois a coleta foi feita em baixa temporada, quando os laudos de balneabilidade normalmente apresentam-se normais. Porém é uma medida interessante para representar outros parâmetros poluidores do corpo d’água.

Em uma análise visual do efluente feita no dia 18 de setembro de 2019, logo após um final de semana de bastante movimentação de turistas no balneário, pode-se constatar uma variação na

turbidez, além da presença de sólidos suspensos que podem ser vistos a olho nu, como mostrado na Figura 18, em que a água do arroio é comparada com água potável.

Figura 18 - Comparação visual da água do arroio com água potável



Fonte: Autor, 2019.

4.2 ALTERNATIVAS DE TRATAMENTO

Observando que o objetivo do trabalho é manter a balneabilidade da região, o foco do tratamento é a diminuição de coliformes presentes na água. Portanto o tratamento escolhido deve ser o que torna o processo de desinfecção o mais eficiente possível.

4.2.1 Wetland Flutuante

O sistema de Wetland Flutuante apresenta uma boa remoção de matéria orgânica solúvel, retirando nutrientes como DBO, DQO e dependendo do tempo de contato, remoção de nitrogênio e fósforo. A sua instalação junto a praça se daria de maneira simples e pouco custosa, visto que o custo para aquisição de todo o material é baixo. Há grande harmonização junto a praça no quesito impacto visual, portanto, para muitas pessoas poderia ser facilmente integrado com vegetação paisagística. Porém existem alguns pontos negativos quanto ao uso de wetland flutuante no local de estudo.

Apesar de apresentar boa remoção de matéria orgânica solúvel, os wetlands apresentam baixa remoção de coliformes, sendo que para a balneabilidade coliformes é o principal parâmetro analisado. Além disso, hoje o canal encontra-se canalizado e coberto, devido a isso não há mau cheiro na praça pública, pois sua única abertura é diretamente na praia. Uma possível abertura no canal iria liberar o mau odor armazenado nos dutos, o que pode gerar desconforto ao público. Algo comum em efluentes sem tratamento é a presença de Sulfeto de Hidrogênio, que é um gás incolor com cheiro similar a “ovos podres”. Outro problema estrutural que esse sistema pode causar são os acidentes devido a quedas no canal aberto, visto que o sistema se localizaria próximo a um parquinho infantil já instalado na praça. Outro ponto negativo é que no verão, período mais chuvoso, há aumento de vazão frequente. Já que o arroio central faz parte da rede de drenagem de boa parte da cidade de Balneário Arroio do Silva, pode ocorrer uma perda de eficiência, visto que com o aumento da vazão, a remoção de nutrientes feita pelas plantas diminui.

O sistema de wetland flutuante apresenta baixa remoção de sólidos suspensos, tendo uma remoção de apenas 10% (STEFANI et al., 2011). Isso é prejudicial a eficiência do sistema de desinfecção, visto que esse material suspenso não solúvel é material inerte, ou seja que não irá reagir ao sistema de desinfecção, diminuindo sua eficiência. As vantagens e desvantagens do sistema foram resumidas no Quadro 4.3.

Quadro 4.3 - Vantagens e desvantagens do sistema de Wetland Flutuante

Vantagens	Desvantagens
Baixo custo de implantação e manutenção	Baixa remoção de coliformes
Baixo impacto visual a praça pública	Risco de acidentes com quedas
Boa remoção de DBO e DQO	Liberação de odor do canal

Fonte: Autor, 2019.

4.2.2 Filtração Superficial

A filtração superficial possui diversos mecanismos. O tipo de filtração superficial que foi analisado foi o filtro tela inclinado. Parecido com o funcionamento de um gradeamento mecânico, o filtro tela inclinado apresenta boa adaptação com o aumento da vazão, devido a não haver uma perda de carga tão alta. Para situações de alta vazão, se construiria um canal lateral para o escoamento em caso de sobrecarga do sistema, que seria alimentado com calhas que funcionariam quando o sistema estivesse em cheia. A filtração superficial apresenta ótima remoção de turbidez e sólidos suspensos, o que é importante para alguns tipos de desinfecção

como radiação UV, aumentando sua eficiência. Sua limpeza é feita de forma automática, onde a rotação do filtro tela acontece e a retrolavagem retira sólidos incrustados.

Como todo tratamento, a filtração superficial também apresenta suas desvantagens. A não remoção de matéria orgânica solúvel é uma delas. Além disso, o filtro tela inclinado necessita da limpeza periódica, já que o material retirado na retrolavagem fica armazenado.

Apesar de ser uma ótima opção para o estudo de caso em questão, a filtração superficial é um sistema clarificador. Portanto não realiza a retirada de alguns nutrientes fundamentais, como matéria orgânica dissolvida, fósforo e nitrogênio. É importante observar-se que em caso de mudanças no sistema para um tratamento completo haveria necessidade de implantação de outros equipamentos para a retirada de matéria orgânica solúvel, fósforo e nitrogênio.

Junto com a instalação do filtro superficial inclinado, para a melhor eficiência do sistema, também é necessário a instalação de um gradeamento grosseiro, para evitar a colmatação e entupimento do filtro superficial em pouco tempo, aumento a frequência das limpezas. No Quadro 4.4 observa-se as vantagens e desvantagens do sistema.

Quadro 4.4 - Vantagens e desvantagens do sistema de filtração superficial

Vantagens	Desvantagens
Necessita pouco espaço	Baixa remoção de DBO e DQO
Substitui o sistema de clarificação primária	Necessidade de limpezas periódicas
Fácil adaptação a maiores vazões	

Fonte: Autor, 2019.

4.2.3 Flotação por ar dissolvido

O sistema de flotação por ar dissolvido é um sistema complexo e muito eficiente, porém esse tipo de tratamento demanda uma manutenção frequente para a retirada do lodo flotado, o que pode causar estranheza quando feito em praça pública e próximo a ambiente familiar. Além disso, o sistema apresenta alto custo, devido a energia gasta para o funcionamento dos aeradores e do uso de produtos químicos para a coagulação.

A mesma consideração se aplica quando falamos sobre a filtração superficial. Apesar de diminuir a turbidez, fator interessante para posterior desinfecção, apresenta impacto visual muito grande quando posicionado no centro de uma praça pública. Além disso, também há

necessidade da remoção de sólidos que serão retirados pelo filtro e levados a uma calha pela esteira. Como não seria possível manter grandes reservatórios de biomassa em local público as limpezas teriam que ser constantes, o que tornaria difícil o acesso ao local quando muito movimentado.

Observa-se no estudo feito por Brito, 2016 que há grande alteração de eficiência com pequenas modificações no sistema. Por isso nota-se que o sistema de flotação por ar dissolvido é um sistema que necessita sempre controle, adequação de pH, dosagem de coagulante, etc. Esse tipo de controle torna-se difícil visto que não haverá operadores 24h na estação de tratamento. Além disso, devido as alterações no efluente decorrentes de períodos de alta e baixa temporada, há necessidade da elaboração de mais jarrestes para obtenção da dosagem correta, o que também é um obstáculo para a administração pública. As vantagens e desvantagens do sistema de flotação por ar dissolvido foram expostas no Quadro 4.5.

Quadro 4.5 - Vantagens e desvantagens do sistema de flotação

Vantagens	Desvantagens
Sistema compacto	Necessidade de aditivos químicos
Remove matéria suspensa	Limpeza constante que causa impactos na praça pública
Boa remoção de matéria orgânica solúvel	Alto custo de instalação
	Perda de eficiência em altas vazões
	Sensibilidade do Sistema

Fonte: Autor, 2019.

4.3 ALTERNATIVAS DE DESINFECÇÃO

Para a desinfecção, para elucidar melhor o comparativo entre todas as técnicas mostradas durante esse trabalho, utilizou-se uma tabela retirada de METCALF e EDDY, 2016, a qual mostra um comparativo entre as técnicas (Quadro 4.6):

Quadro 4.6 – Comparativo entre sistemas de desinfecção

Característica	Hipoclorito de Sódio	Ozônio	Radiação UV
Disponibilidade/Custo	Médio	Alto	Alto
Remoção de Odores	Moderada	Alta	Não há
Integração com a matéria orgânica	Oxida a matéria orgânica	Oxida a matéria orgânica	Absorve radiação UV

Corrosividade	Corrosivo	Corrosivo	Não há
Toxicidade a organismos superiores	Altamente tóxico	Tóxico	Tóxico
Penetração nas partículas	Altamente tóxico	Moderada	Moderada
Questões de Segurança	Moderada a baixa	Alta a moderada	Baixa
Solubilidade	Altamente tóxico	Alta	Não há
Estabilidade	Pouco instável	Pouco instável	Não há
Eficácia para inativação			
Bactérias	Excelente	Excelente	Bom
Protozoários	Limitado	Bom	Excelente
Vírus	Excelente	Excelente	Bom
Formação de Subprodutos	THMs e HAAs	Bromato	Nenhum
Elevação dos SDT	Sim	Não	Não há
Uso como Agente de Desinfecção	Comum	Aumentando Lentamente	Aumentando rapidamente

Fonte: Metcalf & Eddy, 2016.

Como se observa na Tabela 6, todos eles cumprem com o quesito efetividade. Todos processos apresentam bons resultados na eliminação de vírus e bactérias. Porém alguns deles apresentam algumas características que impactam negativamente ao local de instalação, visto que o mesmo é um lugar com grande fluxo de pessoas, diferente situação de instalações de tratamento de água e efluentes que são afastadas dos centros urbanos.

O tratamento por meio de Radiação UV apresenta alto custo de instalação, porém o quesito de não formação de subprodutos pesa muito na decisão, visto que a água tratada terá contato direto com banhistas e é de vital importância para o turismo da região. Além disso, o tratamento por UV tem uma média de inativação boa contra todos os tipos de organismos presentes no esgoto.

Apesar de apresentar um custo menor, a desinfecção com hipoclorito de sódio e ozônio pode formar subprodutos caso o efluente possua algum material residual do tratamento. Isso é de vital importância visto que o tratamento do efluente não será completo e pode apresentar matéria orgânica ou inorgânica em excesso.

Levando-se em conta a questão segurança, por estar em local público de fácil acesso, é muito importante que o método escolhido seja seguro e com pouco risco a população. Outro fator a

ser observado é a segurança das instalações, devido a necessidade de estoque de produtos químicos no local do tratamento os sistemas de desinfecção por cloro e por ozônio pode causar acidentes devido a incidentes com seus invólucros de armazenamento. Já com o uso de UV, não há necessidade da armazenagem de suprimentos o que torna o processo mais seguro.

4.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE ESTUDO DA BACIA HIDROLÓGICA

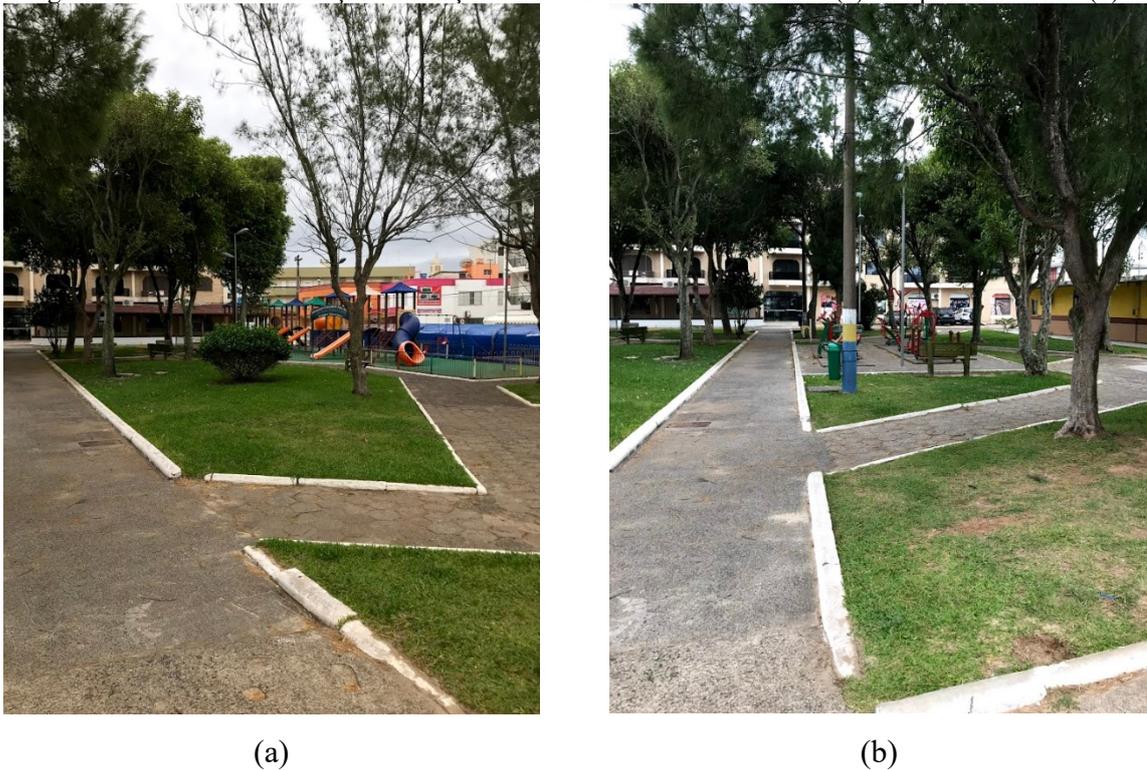
Apesar de o estudo levar em consideração diversos tratamentos e suas adaptabilidades, é importante também um estudo completo da bacia para a quantificação das suas vazões. É necessário o cálculo da área de contribuição da bacia, assim como a definição da sua precipitação para o cálculo da variação que o arroio central sofre durante o ano. Também é importante uma medição anual da vazão do arroio central, para a verificação de qual é a vazão seca do rio, qual a vazão de pico anual, qual é a vazão média, etc. Esse tipo de estudo necessita de uma estação de medição fixa disposta no local, podendo ou não enviar dados e ser operada por telemetria.

O monitoramento do lençol freático também é um ponto a ser analisado. É necessária uma série de análises para verificar se o lençol freático está realmente contaminando o arroio central ou se o mesmo está sendo filtrado pela areia da praia e não contaminando o mar em outros pontos. Para essa análise é necessário uma amostragem da água subterrânea captada em diversos pontos de Balneário Arroio do Silva para a análise da presença e ausência de coliformes na água. Também é viável um teste de traçadores dispostos em fossas sépticas para a verificação de que o efluente da fossa séptica alcance o arroio central.

4.5 ALTERNATIVAS DE LOCAÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO

O Sistema pode ser construído nas áreas livres como mostrado na Figura 19, um local já com vegetação e com área verde em que o arroio canalizado passa justo pela passagem de pedestres. Seria possível a manutenção do passeio, com um deslocamento lateral do mesmo, e da construção logo sobre o corpo d'água canalizado. Vale ressaltar também que as árvores que se encontram plantadas no local (Figura 19) são árvores exóticas, ou seja, não sendo uma árvore nativa do bioma Mata Atlântica, portanto não há necessidade de obtenção de autorização de supressão de vegetação.

Figura 19 – Possível localização de estação de tratamento. Direita do canal (a) e esquerda do canal (b).



Fonte: Autor

4.5.1 Tratamento escolhido

Observa-se que o objetivo do trabalho é manter a balneabilidade do local estudado, o foco do tratamento é a diminuição de coliformes presentes na água. Portanto o tratamento escolhido deve ser o que torna o processo de desinfecção o mais eficiente possível. Visto esse objetivo, o tratamento mais adequado para a instalação no local é o sistema de filtração superficial. Devido a fácil manutenção, baixo custo de instalação e com a possibilidade de harmonia paisagística, esse tipo de sistema de tratamento aparenta ser a melhor escolha para o caso estudado. Além disso, o sistema de filtração superficial apresenta redução de turbidez, o que é importante para a eficiência do sistema de desinfecção escolhido.

O maior ponto negativo do sistema de flotação é a necessidade da remoção do lodo sobrenadantes do sistema de forma constante. Esse acúmulo e a ação da retirada pode gerar desconforto para os usuários da praça e do parque infantil próximo. A sensibilidade do sistema também é importante, pois uma alteração do pH do efluente pode fazer com que a eficiência diminua causando uma falha no sistema.

Apesar do sistema de Wetland ter baixo impacto visual, visto que a vegetação já é algo comum em praças públicas, e boa remoção de matéria orgânica solúvel, o fato da necessidade de manter a estrutura aberta para a incidência de luz solar é preocupante. Primeiramente com o canal aberto, pode ocorrer a propagação de maus odores, o que influencia os transeuntes da praça e também o comércio próximo. Outro fator importante é que próximo ao local de instalação do sistema há um parque infantil, por isso todo cuidado deve ser tomado para a prevenção de acidentes. Outro ponto negativo é que o wetland torna-se ineficiente com o aumento da vazão, o que pode ocorrer frequentemente devido ao arroio ser o ponto de escoamento de diversos alagamentos próximos. Além disso, ele não elimina coliformes e não apresenta redução significativa de sólidos totais, parâmetros principais devido a necessidade da balneabilidade da praia.

O Quadro 4.7 apresenta um resumo pontual da eficiência de remoção de cada parâmetro que cada tipo de tratamento proporciona.

Quadro 4.7 - Eficiência na remoção de cada parâmetro por tratamento

Eficiência de remoção	Wetland Flutuante	Flotação por ar dissolvido	Filtração Superficial
DBO	Alta	Média	Baixa
DQO	Alta	Média	Baixa
Coliformes	Baixa	Média	Média
Turbidez	Baixa	Média	Alta

4.5.2 Sistema de Desinfecção Escolhido

Dos sistemas de desinfecção analisados, é possível perceber os pontos positivos e negativos de cada um. Quanto ao sistema de desinfecção por hipoclorito, há chance da sobrecarga de matéria orgânica no sistema o que pode gerar a criação de Trihalometanos que seriam despejados diretamente no balneário. Além disso, como o efluente tratado pelo sistema é despejado no mar, há uma preocupação com o cloro residual presente no afluente, podendo contaminar a biota marinha.

O sistema de ozonização também é uma boa escolha, porém também existe chance da formação de bromato no decorrer do tratamento. Além disso, esse tipo de desinfecção necessita de alto custo energético para a dissolução do ozônio no sistema, o que pode tornar o custo de operação oneroso. Além disso, segundo o Quadro 4.6, o sistema de ozonização apresenta questões de

segurança alta a moderada, o que é importante devido a proximidade do público em que a estação estará.

O sistema que foi considerado o mais adequado é a radiação UV. O mesmo apresenta boa eficiência na remoção de diversos microorganismos. Além disso, é considerado um tratamento seguro. O sistema UV também complementa com o tratamento escolhido, visto que a filtração superficial apresenta redução na turbidez e nos sólidos suspensos, aumentando a eficiência da desinfecção. A radiação por UV tem como ponto negativo seu custo de instalação, visto que não é uma tecnologia barata, porém é a que apresenta maior compatibilidade com o caso em questão. Utilizando como base o sistema de desinfecção apresentado na Figura 6, é um sistema de alta taxa que permite a desinfecção em fluxo contínuo, com fácil adaptação ao canal de instalação. Além disso, o sistema possui autolimpeza, o que facilita a operação por meio da prefeitura municipal.

5 CONCLUSÃO

Analisando-se a condição socioambiental da cidade de Balneário Arroio do Silva, pode-se entender a principal fonte e a causa da contaminação do balneário, sendo ela a contaminação do lençol freático devido a ineficiência do sistema fossa sumidouro. Na comparação entre os sistemas de tratamento a eficiência na remoção de parâmetros que removessem turbidez e sólidos suspensos foi ponto importante na escolha. Além disso a compatibilidade do tratamento e manutenção com a localização do tratamento também foi um fator estudado. Analisando esses fatores dos sistemas de tratamento e desinfecção definiu-se que a melhor opção seria a filtração superficial por filtro tela inclinado, devido a remoção da turbidez e sólidos suspensos, além de facilidade de instalação e operação. Para a desinfecção escolheu-se o sistema de radiação UV devido a ser um sistema de bastante eficiência na remoção de coliformes e por ser um sistema em que não são criados subprodutos.

Para um melhor dimensionamento e escolhas do tratamento, é necessário também um estudo da contribuição do regime de chuvas na bacia do arroio central, com um estudo de vazão máxima e vazão mínima. Além disso, é importante verificar se o lençol freático realmente contribui pra contaminação do arroio central, realizando análises do próprio lençol freático.

REFERÊNCIAS

- AGARDY, Tundi e ALDER, Jacqueline. (2005). Millennium Ecosystem Assessment. *Ecosystems and Human Well-being*. p. 545.
- ANJOS, J. A. S. A. Avaliação da eficiência de uma zona alagadiça (wetland) no controle da poluição de metais pesados: O caso da Plumbum em Santo Amaro da Purificação/BA. Tese de Doutorado – Escola politécnica, Universidade de São Paulo, 2003. p 328.
- ARAÚJO, C.; VARGAS, H. Sorria: você está na Bahia. A urbanização e a turistificação do litoral baiano. **GOT - Geography and Spatial Planning Journal**, v. 3, p. 23–41, 2015.
- BORELLI, E. Espaço Da Costa Brasileira Urbanization and Ambient Quality : the Production Process of the Brazilian Coast Space. **Economia**, 2007.
- BRITO, A. C. Flotação por ar dissolvido como pós-tratamento de efluentes de lagoas de estabilização. 2016.
- BUTLER, D.; SCHULTZ, M. Integrating simulation models with a view to optimal control of urban wastewater systems. v. 20, 2005.
- Crawford TW. 2007. Where does the coast sprawl the most? Trajectories of residential development and sprawl in coastal North Carolina, 1971–2000. *Landscape and Urban Planning* 83: 294–307.
- Crim JF. 2007. Water Quality Changes Across an Urban-Rural Land Use Gradient in Streams of the West Georgia Piedmont. M.S. Thesis, Auburn University, Auburn, AL; 130.
- CHIU, Y.; CHANG, L.; CHANG, F. Effects of urbanization on stream hydrology and water quality: the Florida Gulf Coast. **Hydrological Processes**, v. 3172, n. February, p. 3162–3172, 2007.
- de la Crétaz AL, Barten PK. 2007. Land Use Effects on Streamflow and Water Quality in the Northeastern United States. CRC Press: New York, NY; 344.
- DIAS, R. L.; OLIVEIRA, R. C. Zoneamento geoambiental do litoral sul do Estado de São Paulo. *Geografia, Rio Claro*, v. 38, n. 2, p. 371-383, 2013.
- DiDonato GT, Stewart JR, Sanger DM, Robinson BJ, Thompson BC, Holland AF, Van Dolah RF. 2009. Effects of changing land use on the microbial water quality of tidal creeks. *Marine Pollution Bulletin* 58: 97–106.

FAULKNER, J. et al. Evolved Disease-Avoidance Mechanisms and Contemporary Xenophobic Attitudes. v. 7, n. 4, p. 333–353, 2004.

Holland AF, Sanger DM, Gawle CP, Lerberg SB, Sexto Santiago M, Riekerk GHM, Zimmerman LE, Scott GI. 2004. Linkages between tidal creek ecosystems and the landscape and demographic attributes of their watersheds. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 298: 151–178.

IWA – International Water Association (2000). *Constructed Wetlands for Pollution Control: Processes, Performance, Design and Operation*. Scientific and Technical Report No. 8. London, England: IWA Publishing. 156 p

KADLEC, R.H. e KNIGHT, R.L. (1996). *Treatment Wetlands*. Boca Raton, Florida: Lewis Publishers. 893p.

LIÉNARD, A. (2005). *Wetland systems for water pollution control IX: Preface*. *Wat.Sci.Tech.*, v.51, n. 9.

Mallin MA, Johnson VL, Ensign SH. 2009. Comparative impacts of stormwater runoff on water quality of an urban, a suburban, and a rural stream. *Environmental Monitoring and Assessment* 159:475–491.

Mallin MA, Williams KE, Esham EC, Lowe RP. 2000. Effect of human development on bacteriological water quality in coastal watersheds. *Ecological Applications* 10: 1047–1056.

METCALF & EDDY, 2016. *Tratamento de efluentes e recuperação de recursos*. 5ª edição.

MEYER, S. T. O Uso de Cloro na Desinfecção de Águas , a Formação de Trihalometanos e os Riscos Potenciais à Saúde Pública Chlorine Use in Water Disinfection , Trihalomethane Formation , and Potential Risks to Public Health. v. 10, n. 1, p. 99–110, 1994.

OLIVERA, F.; DEFEE, B. B. URBANIZATION AND ITS EFFECT ON RUNOFF IN THE WHITEOAK BAYOU WATERSHED , TEXAS 1. v. 43, n. 1, p. 170–182, 2007.

PAUL, M. J.; MEYER, J. L. *Streams in the Urban Landscape*. 2001.

SCHOONOORER JE, LOCKABY BG, HELMS BS. 2006. Impacts of land cover on stream hydrology in the west Georgia Piedmont, USA. *Journal of Environmental Quality* 35: 2123–2131.

SEZERINO, P. H. Potencialidade dos filtros plantados com macrófitas (Constructed wetlands) no pós-tratamento de lagoas de estabilização sob condições de clima subtropical.

Florianópolis / SC. p. 1–171, 2006.

STEFANI, G. DE et al. Performance of a floating treatment wetland for in-stream water amelioration in NE Italy. p. 157–167, 2011.

TEIXEIRA, P. DA C. EMPREGO DA FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES. 2003.

WNLFE, R. L.; PO, L. A. C. A. Ultraviolet disinfixtion of potable water. v. 24, 1990.

ZANELLA, Liane Carly Hermes. **Metodologia de estudo e de pesquisa em administração**. Florianópolis. Departamento de Ciências da Administração - UFSC; [Brasília]: CAPES: UAB, 2009. 164p.