



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ  
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE GRADUAÇÃO  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS  
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

BRENDELL RUSSO ARAUJO DE SOUSA

**PARAMETRIZAÇÃO E PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE  
EMISSÁRIOS SUBFLUVIAIS EM MACAPÁ E SANTANA/AP**  
Viabilidade técnica, econômica e ambiental

MACAPÁ  
2023

BRENDELL RUSSO ARAUJO DE SOUSA

**PARAMETRIZAÇÃO E PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE  
EMISSÁRIOS SUBFLUVIAIS EM MACAPÁ E SANTANA/AP**  
Viabilidade técnica, econômica e ambiental

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Amapá, como requisito para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Alan Cavalcanti da Cunha.

MACAPÁ  
2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Biblioteca Central/UNIFAP-Macapá-AP  
Elaborado por Cristina Fernandes – CRB-2 / 1569

---

S725 Sousa, Brendell Russo Araujo de.  
Parametrização e pré-dimensionamento de emissários subfluviais em Macapá e Santana/AP viabilidade técnica, econômica e ambiental / Brendell Russo Araujo de Sousa. - Macapá, 2023.  
1 recurso eletrônico. 103 folhas.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Amapá, Coordenação do Curso de Engenharia Civil, Macapá, 2023.  
Orientador: Alan Cavalcanti da Cunha.

Modo de acesso: World Wide Web.  
Formato de arquivo: Portable Document Format (PDF).

1. Tecnologia alternativa sustentável. 2. Esgotos domésticos. 3. Rio Amazonas. I. Alan Cavalcanti da Cunha, orientador. II. Universidade Federal do Amapá. III. Título.

CDD 23. ed. – 628.3

---

SOUSA, Brendell Russo Araujo de. Parametrização e pré-dimensionamento de emissários subfluviais em Macapá e Santana/AP viabilidade técnica, econômica e ambiental. Orientador: Alan Cavalcanti da Cunha. 2023. 103 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Coordenação do Curso de Engenharia Civil. Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2023.

## DEDICATÓRIA

À minha avó, Maria Luiza, aos meus pais, Wendell e Joseane, ao meu amor, Ana Luiza, e a meus filhos (pets), Ahsoka, Anakin, Bolt, Bohr, Luke, Leia, Melian, Nori e Padmé.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao prof. Dr. Alan Cavalcanti da Cunha, que durante o período de Iniciação Científica (IC) e orientação da monografia sempre esteve de prontidão para ajudar e agregar com as suas excelentes revisões e ensinamentos, além de incentivar e encorajar a produção científica, serei sempre grato.

Aos colaboradores do grupo de pesquisa com as excepcionais contribuições, sendo eles: mestra Taís Sousa (PPGCA/UNIFAP) e doutoranda Elizandra Perez (BIONORTE/UNIFAP), pelas ótimas revisões e confecção do mapa; prof. Dr. Carlos Abreu (Engenharia Ambiental/UEAP), pela contribuição com sua modelagem hidrodinâmica; e profa. Dra. Helenilza Cunha (Ciências Ambientais/UNIFAP), que contribuiu excepcionalmente com a revisão editorial.

Ao meu amor e graduanda Ana Luiza (Ciências Biológicas/UNIFAP), pela figura esquemática e excelentes revisões, além de todo o incentivo e apoio emocional durante esse período de curso.

À minha família pelas condições e oportunidades de estudo, além da presença e preocupação, serei grato eternamente. E aos meus filhos (pets) pela leveza nos momentos mais difíceis.

Aos professores do curso de Engenharia Civil (UNIFAP), com quem pude aprender e crescer como acadêmico graças aos ensinamentos durante essa jornada universitária.

À instituição de ensino UNIFAP e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela oportunidade e financiamento da IC na modalidade PIBIC/CNPq durante o período 2022-2023 e Bolsa PQ 2 Nº 314830/2021-9.

## EPÍGRAFE

*“Tudo o que temos de decidir é o que fazer  
com o tempo que nos é dado.”*

**(Gandalf)**

## RESUMO

Cidades costeiras na Amazônia são extremamente carentes de infraestrutura básica para tratamento e disposição final de esgotos domésticos urbanos. Uma solução alternativa sustentável para enfrentar o problema seria implantar emissários subfluviais e pré-condicionamento de tratamento de efluentes que reduziram significativamente os atuais impactos da poluição. O objetivo da pesquisa foi analisar a viabilidade técnica, econômica e ambiental de projetos alternativos para o destino adequado de efluentes domésticos na zona costeira do estado do Amapá (ZCEA)/Brasil. Para isto, levou-se em conta o dimensionamento básico da infraestrutura e nível atual de tratamento de efluentes domésticos despejados *in natura* no Rio Amazonas. A metodologia da pesquisa apresentou as seguintes etapas: a) pré-dimensionamento dos principais elementos infraestruturais de emissários (EM) subfluviais; b) avaliação da redução dos impactos na qualidade da água na orla metropolitana das cidades de Macapá e Santana; c) avaliação econômica com soluções de implementação de emissários pré-condicionados para disposição final de esgotos domésticos, comparadas com outros estudos alternativos na região amazônica. Os resultados indicaram viabilidade técnica, ambiental e econômica para emissários subaquáticos na Zona Norte e Central de Macapá, onde há elevada capacidade autodepurativa do Rio Amazonas e geomorfologia regular. Todavia, a viabilidade técnica, sobretudo em Fazendinha e Santana não foram satisfatórias devido às variações topobatimétricas e ao tráfego na hidrovia no Canal de Santana. Concluímos que as condições autodepurativas e sanitárias nos trechos estudados do Rio Amazonas apresentam-se como alternativa sustentável, eficiente e competitiva, além de extremamente favoráveis para implantação de emissários subaquáticos, proporcionando simplicidade, adequação técnica e ambiental à realidade socioeconômica regional.

**Palavras-chave:** Rio Amazonas; Impactos ambientais; Tecnologia alternativa sustentável; Esgotos domésticos.

## ABSTRACT

Coastal cities in the Amazon are extremely lacking in basic infrastructure for the treatment and final disposal of urban domestic sewage. A sustainable alternative solution to address the problem would be to implement sub-river outfalls and effluent treatment pre-conditioning that significantly reduced the impacts of pollution. The objective of the research was to analyze the technical, economic and environmental feasibility of alternative projects for the adequate disposal of domestic effluents in the coastal zone of the state of Amapá (ZCEA)/Brazil. For this, the basic sizing of the infrastructure and the current level of treatment of domestic effluents discharged in natura into the Amazon River were taken into account. The research methodology presented the following steps: a) pre-dimensioning of the main infrastructural elements of subfluvial outfalls (EM); b) assessment of the reduction of impacts on water quality on the metropolitan shore of the cities of Macapá and Santana; c) economic evaluation with alternatives for implementing pre-conditioned outfalls for the final disposal of domestic sewage, compared with other alternative studies in the Amazon region. The results indicated technical, environmental and economic viability for underwater outfalls in the North and Central Zone of Macapá, where there is a high self-cleaning capacity of the Amazon River and regular bathymetry. However, technical feasibility, especially in Fazendinha and Santana, was not satisfactory due to topobathymetric irregularities and traffic on the waterway in the Santana Channel. We conclude that the self-purification and sanitary conditions in the studied stretches of the Amazon River are a sustainable, efficient and competitive alternative technology that is extremely favorable for implementing underwater outfalls, due to its simplicity and mainly suitability to the regional socioeconomic reality.

**Keywords:** Amazon river; Environmental impacts; Sustainable alternative technology; Domestic sewers.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de disposição dos emissários subfluviais.....	11
Figura 2 - Zona Costeira do Estado do Amapá (ZCEA) .....	15
Figura 3 - Sistemas de esgotamento sanitários (unitário e separador) .....	18
Figura 4 - Níveis de tratamento de uma EPC.....	19
Figura 5 - Níveis de tratamento de uma ETE .....	20
Figura 6 - EPC do emissário de Araçá .....	22
Figura 7 - Chaminé de equilíbrio do emissário das Cigarras.....	24
Figura 8 - Emissário submarino de aço com tubulação difusora .....	25
Figura 9 - Tubulação de concreto armado do emissário de Thessaloniki .....	26
Figura 10 - Tubulação de PEAD do emissário de Bata (Guiné Equatorial) .....	27
Figura 11 - Conexão de tubulação de ferro fundido .....	27
Figura 12 - Válvulas de orifício fixo e variável (“duckbill”) .....	28
Figura 13 - Etapas metodológicas da pesquisa.....	33
Figura 14 - Batimetria da área de estudo .....	35
Figura 15 - Parâmetros construtivos da tubulação difusora .....	38
Figura 16 - Relação empírica da diluição inicial mínima .....	40
Figura 17 - Determinação da dispersão horizontal (D2).....	41
Figura 18 - Decaimento bacteriano .....	41
Figura 19 - Localização dos pontos de implantação de potenciais emissários e pontos de lançamento e dispersão dos efluentes .....	45

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Exemplos de emissários submarinos utilizados no Brasil e mundo .....	29
Quadro 2 - Legislação pertinente à qualidade da água e ao lançamento de efluentes .....	31
Quadro 3 - Classificação dos corpos hídricos segundo o seu uso preponderante....	31
Quadro 4 - Classificação da balneabilidade segundo o CONAMA.....	32

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - População estimada e vazão de projeto .....	44
Tabela 2 - Parâmetros gerais de projeto .....	46
Tabela 3 - Batimetria local dos pontos de lançamento de efluentes .....	46
Tabela 4 - Resultados do dimensionamento hidráulico e ambiental .....	47
Tabela 5 - Redução total e necessária obtida dos emissários .....	47
Tabela 6 - Custos da EPC por tipo de tratamento e dos materiais (tubo e difusor)...	48

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
1.1 JUSTIFICATIVA.....	11
1.2 OBJETIVOS.....	14
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>15</b>
2.1 ÁREA DE ESTUDO: ZONA COSTEIRA ESTUARINA DO AMAPÁ .....	15
2.2 SISTEMAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO .....	17
2.3 EMISSÁRIO SUBMARINO/SUBFLUVIAL COMO DISPOSIÇÃO DO ESGOTO SANITÁRIO .....	21
2.4 ENQUADRAMENTO LEGAL PARA LANÇAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS EM CORPOS RECEPTORES.....	30
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>33</b>
3.1 ESTIMATIVA POPULACIONAL E VAZÃO DE PROJETO.....	33
3.2 BATIMETRIA E CARACTERÍSTICAS DO LEITO DO RIO .....	34
3.3 VELOCIDADE DA CORRENTE NO LOCAL.....	35
3.4 DECAIMENTO BACTERIANO E ZONA DE PROTEÇÃO.....	36
3.5 DIMENSIONAMENTO PRELIMINAR DO EMISSÁRIO .....	36
3.6 DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DOS DIFUSORES .....	37
3.7 REDUÇÃO TOTAL DA DENSIDADE DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES .....	39
3.8 TIPO DE TRATAMENTO DO EFLUENTE E ESTIMATIVA DE CUSTOS MATERIAIS .....	42
<b>4 RESULTADOS</b> .....	<b>44</b>
<b>5 DISCUSSÃO</b> .....	<b>49</b>
<b>6 CONCLUSÃO</b> .....	<b>56</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>58</b>
<b>APÊNDICE A – PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS EMISSÁRIOS</b> .....	<b>70</b>
<b>APÊNDICE B – CUSTO DIRETO DE MATERIAL ESTIMADO</b> .....	<b>94</b>
<b>ANEXO A – BATIMETRIA DA ÁREA E EMISSÁRIOS</b> .....	<b>95</b>

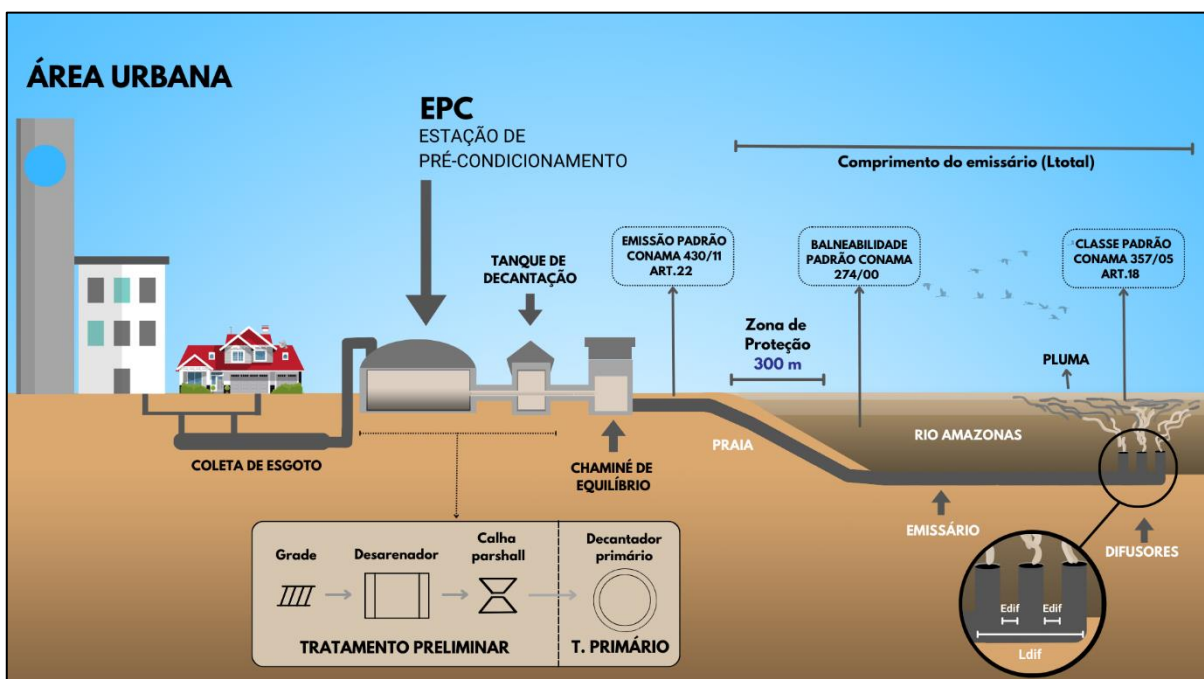
# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Emissário submarino ou subfluvial é uma tubulação utilizada para lançamento de esgotos sanitários ou industriais no mar/rio, aproveitando a capacidade de autodepuração das águas que promovem a diluição, a dispersão e o decaimento de cargas poluentes a elas lançadas (GONÇALVES; SOUZA, 1997). São estruturas consideradas complementares e integradas aos sistemas de tratamento e disposição final de esgotos sanitários das cidades litorâneas (CUNHA *et al.*, 2021). O seu funcionamento é simples e eficiente em ambos os processos e, normalmente é constituído por um interceptor de esgotos e um emissário (GONÇALVES; SOUZA, 1997; RODRIGUES, 2012).

Trata-se de uma das soluções tecnológicas alternativas encontradas para a destinação final dos resíduos líquidos gerados nos domicílios. Normalmente é realizado com um pré-condicionamento para a remoção de sólidos grosseiros e parte do material suspenso. O esgoto tem sua disposição final no corpo d'água receptor por meio dos emissários subfluviais, os quais são constituídos por uma tubulação longa assentada no fundo marinho ou leito do rio, atingindo pontos profundos no final do seu trecho, onde é realizada a disposição final do esgoto pré-tratado por meio de vários orifícios, denominados difusores (Figura 1) (LAMPARELLI, 2006; ORTIZ *et al.*, 2016).

Figura 1 - Esquema de disposição dos emissários subfluviais



Fonte: Autor (2023).

Na Amazônia, a viabilidade de sistemas subfluviais já é uma realidade, como é o caso de Belém-PA, Santarém-PA, Manaus-AM, Boa Vista-RR. Em Macapá-AP essa possibilidade é potencialmente promissora, haja vista as conhecidas características autodepurativas do estuário do Rio Amazonas (BRITO, 2013; WARD *et al.*, 2013; CUNHA *et al.*, 2001; ABREU *et al.*, 2020; CUNHA *et al.*, 2021; ARAÚJO *et al.*, 2022). Esse potencial é devido às características do corpo hídrico receptor, com grande volume, vazão e capacidade dispersiva, altas taxas de renovação superficial hídrica, ao longo dos seus ciclos de marés (PINHEIRO *et al.*, 2008; ABREU *et al.*, 2020).

O nível de tratamento adequado do esgotamento sanitário de Macapá-AP e Santana-AP é estimado, respectivamente, em 26,8% e 15,3% (IBGE, 2022a), sendo o restante lançado *in natura* na rede de drenagem que escoar para o Rio Amazonas (ABREU, 2020; VIEGAS *et al.*, 2021). Esse cenário do esgotamento sanitário é problemático do ponto de vista sanitário e ambiental, pois é degradante para os corpos hídricos e à balneabilidade da região costeira, impactando inclusive os sistemas de captação de água em geral e sistemas de drenagem e águas pluviais (CUNHA *et al.*, 2004, 2005, 2019; ARAUJO *et al.*, 2021; SOUSA *et al.*, 2022), devido a inexistência de sistemas separadores absolutos de esgotamento sanitário (VIEGAS *et al.*, 2021).

Na ótica da engenharia sanitária e ambiental é interessante considerar a capacidade de diluição, dispersão e biodegradação do corpo hídrico contra as cargas de efluentes das cidades de Macapá e Santana, visando a mitigação dos efeitos deletérios causados pelo esgoto lançado *in natura*. Todavia, estudos sugerem existência de longos trechos nas margens do rio Amazonas onde a capacidade autodepurativa pode ser relativamente reduzida porque nestes pontos as águas são mais rasas (3 a 5 m). Portanto, a profundidade é um parâmetro que pode limitar significativamente a capacidade de autodepuração e o potencial de diluição e dispersão de poluentes localmente (PINHEIRO *et al.*, 2008; CUNHA *et al.*, 2012; ABREU *et al.*, 2020).

A presente pesquisa analisa o uso potencial da tecnologia alternativa sustentável de emissários subaquáticos ao longo da orla de Macapá e Santana. Trata-se de uma solução comparativamente interessante para o pré-condicionamento e disposição final de esgotos sanitários na Zona Costeira do Estado do Amapá (ZCEA), considerando-se a hipótese de que o corpo receptor é adequado para esta finalidade.

Dessa forma, o objetivo principal da pesquisa é propor a redução significativamente dos atuais impactos ambientais e sanitários causada por despejo

de esgotos domésticos e seus impactos na qualidade da água da zona costeira (especificamente a concentração de coliformes totais - CT).

Como objetivos específicos, comparar de forma simplificada alguns aspectos técnicos, ambientais e econômicos que poderiam ser vantajosos com o emprego desta tecnologia. Portanto, avaliar a redução segura dos efeitos deletérios da poluição e seus impactos à saúde pública. Neste contexto, considera-se a hipótese de que a solução proposta dos emissários seja sustentável, eficiente e competitiva em relação a outras alternativas tecnológicas convencionais, ou de baixo custo, como lagoas de estabilização biológicas (LEBs) ou lodos ativados (LA). Para estes casos, a inexistência de sistemas de esgotamento/tratamento de esgotos doméstico é potencialmente um problema crônico que reflete os atuais níveis de poluição devido a falta de tratamento e disposição final inadequada dos esgotos domésticos em grandes e médias cidades da Amazônia (CUNHA *et al.*, 2012). Portanto, os extremamente baixos níveis de tratamento e disposição final de esgotos classifica Macapá como o de pior índice de saneamento do Brasil (último lugar) no *ranking* nacional comparado a outras cidades com populações acima de 100 mil habitantes (SNIS, 2023).

As hipóteses centrais da pesquisa são: a) as cargas de poluição e as plumas de poluentes (CT) poderão ser reduzidas significativamente com a implantação de emissários que eliminariam a maior parte dos efeitos deletérios causadas por fontes pontuais e difusas de poluentes domésticos ao longo da orla de Macapá e Santana; b) o pré-dimensionamento dos emissários subfluviais depende da análise detalhada das condições físicas locais (ambientais) e de alternativas técnicas compatíveis que apresentem simplicidade das instalações e que sejam econômica e operacionalmente vantajosas em comparação às tecnologias convencionais (LEB ou LA). Além disso, deverão apresentar vantagens ambientais significativas, tais como as condições hidrodinâmicas/batimétricas e operacionais favoráveis, tais como o poder autodepurativo do rio Amazonas.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

- Avaliar as condições de pré-dimensionamento e potencial de implantação de emissários subfluviais de esgotos sanitários na orla de Macapá e Santana, considerando-se os aspectos de viabilidade técnica, econômica e ambiental de disposição final de esgotos sanitários. Isto é, como alternativa ambientalmente adequada e sustentável em estudos de concepção do Sistemas de Esgotamento Sanitário (SES).

### 1.2.2 Objetivos específicos

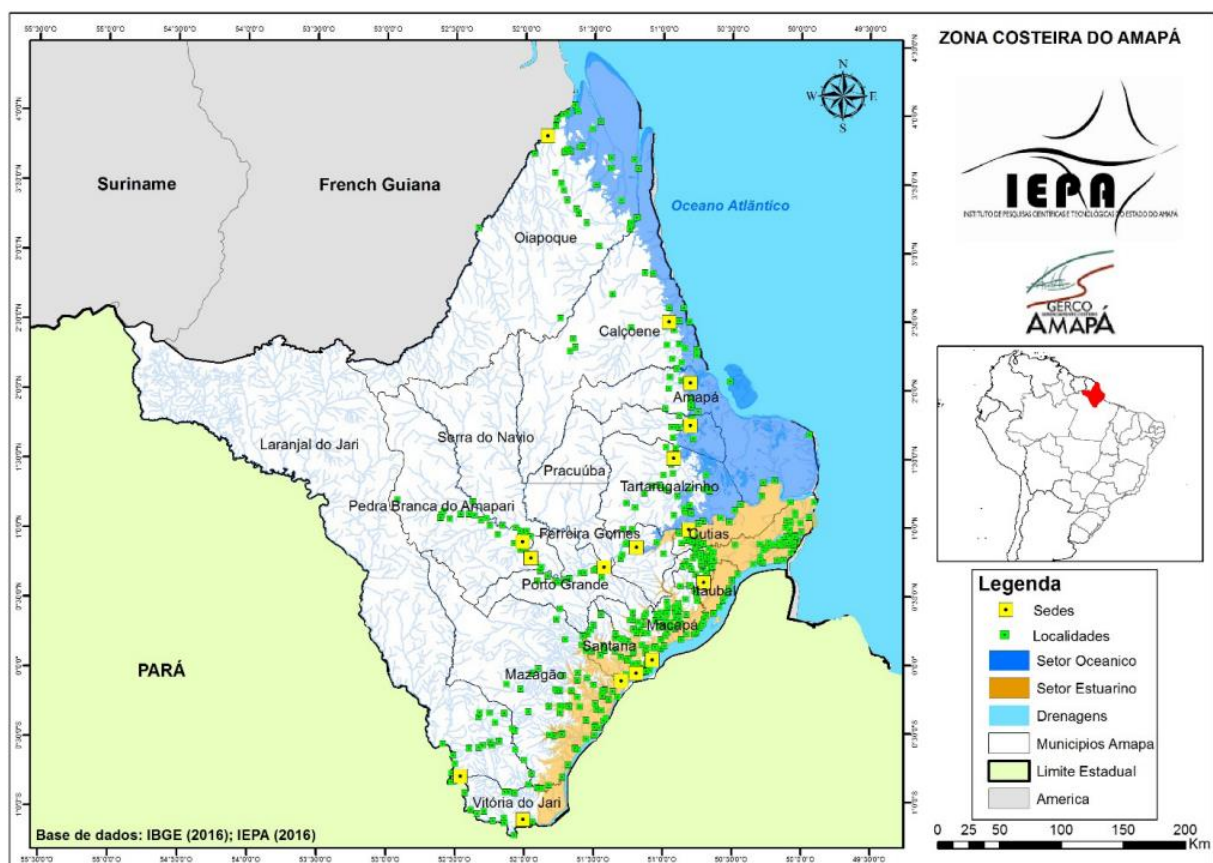
- Propor alternativas de pré-dimensionamento da infraestrutura básica de emissários subfluviais de esgoto doméstico em Macapá/AP e Santana/AP;
- Estudar as principais variáveis e parâmetros de projeto que subsidiem modelos numéricos (diluição, dispersão e de qualidade da água), utilizados como entrada de dados de sistemas de modelagem hidrodinâmica e ambiental (SisBaHiA);
- Propor novos estudos alternativos que auxiliem o dimensionamento e a operação de emissários futuros, visando sua sustentabilidade ante aos órgãos ambientais (Secretaria de Estado do Meio Ambiente/SEMA e de Saneamento/Companhia de Saneamento do Amapá - CSA).

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 ÁREA DE ESTUDO: ZONA COSTEIRA ESTUARINA DO AMAPÁ

A zona costeira do Estado do Amapá (ZCEA) é localizada na posição predominantemente equatorial e possui 750 km de extensão entre a foz dos rios Jari e Oiapoque (Figura 2). É considerada a região mais preservada e menos povoada do país. Essa zona é subdividida em dois setores: 1) costeiro estuarino ou amazônico, localizado entre os estuários do rio Araguari e Jari; 2) costeiro oceânico ou atlântico, localizado ao norte da foz do rio Araguari até o limite com a Guiana Francesa (TORRES *et al.*, 2018).

Figura 2 - Zona Costeira do Estado do Amapá (ZCEA)



Fonte: SILVA JUNIOR, 2020.

A ZCEA tem como característica a presença predominante de sedimentos lamosos, sendo observadas quatro áreas: de erosão; de acumulação (engloba a formação e migração de bancos arenosos); de acresção lamosa; e de deposição efêmera. Além disso, possui um clima quente e úmido com duas estações distintas de precipitação, sendo uma estação seca (setembro a novembro, com precipitação média de 50 mm/mês) e uma estação chuvosa (fevereiro a maio, com precipitações

maiores que 250mm) (TORRES *et al.*, 2018). Além disso, apresenta regime hidrológico monomodal, com estação chuvosa concentrada entre dezembro a maio (picos de cheia), e a estação menos chuvosa (entre setembro a novembro, não superiores a 80 mm) (ABREU *et al.*, 2020).

O setor costeiro estuarino do Amapá possui 350 km de extensão sendo caracterizado por uma costa plana, baixa e instável. Esse setor está submetido a processos fluviais do canal Norte do Rio Amazonas e costeiros (correntes de marés de enchente/vazante), o que gera erosão e deposição, contribuindo para a formação de planícies alagadas. A zona costeira estuarina do Amapá é subdividida em: alto, correspondente ao trecho da baía de Macapá; médio, limitado entre a Ponta do Pau Cavado e a foz do rio Gurijuba; baixo, localiza-se no arquipélago do Bailique (entre a foz dos rios Gurijuba e Araguari). No setor costeiro estuarino a erosão alcança 55%, enquanto a acumulação alcança 45% (TORRES *et al.*, 2018).

A descarga hídrica do Rio Amazonas ( $\approx 172.000 \text{ m}^3/\text{s}$ ) é responsável pelo ambiente dinâmico que ocorre na sua foz e na plataforma continental adjacente, formando o maior estuário do planeta (WARD *et al.*, 2013; NITTRouer *et al.*, 1990; ANA, 2010), com uma alta capacidade autodepurativa (CUNHA *et al.*, 2012). No setor estuarino do Rio Amazonas a maré semidiurna (duas preamares e duas baixa-mares no período de um dia lunar com 24h50min), sendo  $M_2$  e  $S_2$  as principais componentes harmônicas das marés e a vazão fluvial são as principais forças motrizes do estuário (GALLO e VINZON, 2005, 2015; ALVES, 2022; LESS *et al.*, 2021).

As zonas urbanas mais significativas do Estado do Amapá são as sedes municipais de Macapá (6.408,55 km<sup>2</sup>) e Santana (1.541,22 km<sup>2</sup>), zona sudeste do Amapá. A população de Macapá e Santana é estimada respectivamente em 422.933 e 107.373 habitantes (IBGE, 2022a). Os serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário são fornecidos pela Concessionária de Saneamento do Amapá (CSA - Grupo Equatorial Energia). O município de Macapá possui um índice de coleta de esgoto de 27,14% e Santana de 2,18%, dos quais são tratados 99,99% na ETE (LEB) Macapá e 0% em Santana (BRASIL, 2021a). Deste modo, os usuários que não possuem serviços de esgotamento sanitários geralmente dispõem apenas de fossas sépticas e sumidouros rústicos que, por seu turno, encontram-se fora das normas técnicas sanitárias para a disposição final de efluentes.

## 2.2 SISTEMAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

No contexto brasileiro, de acordo com a Lei nº 11.445 (BRASIL, 2007), o saneamento básico é descrito como a totalidade dos serviços, estruturas e instalações relacionados ao fornecimento de água potável, ao tratamento de esgoto, à gestão de resíduos sólidos e à administração das águas pluviais nas áreas urbanas.

Efluentes ou águas residuais consistem em líquidos residuais provenientes de atividades sanitárias, industriais e processos naturais de precipitação pluvial. Antes de serem liberados na natureza, esses efluentes devem ser adequadamente tratados para evitar a degradação ambiental e proteger a saúde humana (TSUTYA; ALEM SOBRINHO, 2011). São categorizados da seguinte forma: efluente sanitário ou comum, que se divide em doméstico, comercial e público; efluente pluvial, referente à coleta de água da precipitação atmosférica e da lavagem de ruas; e o efluente industrial que provém dos processos produtivos industriais (AISSE, 2000).

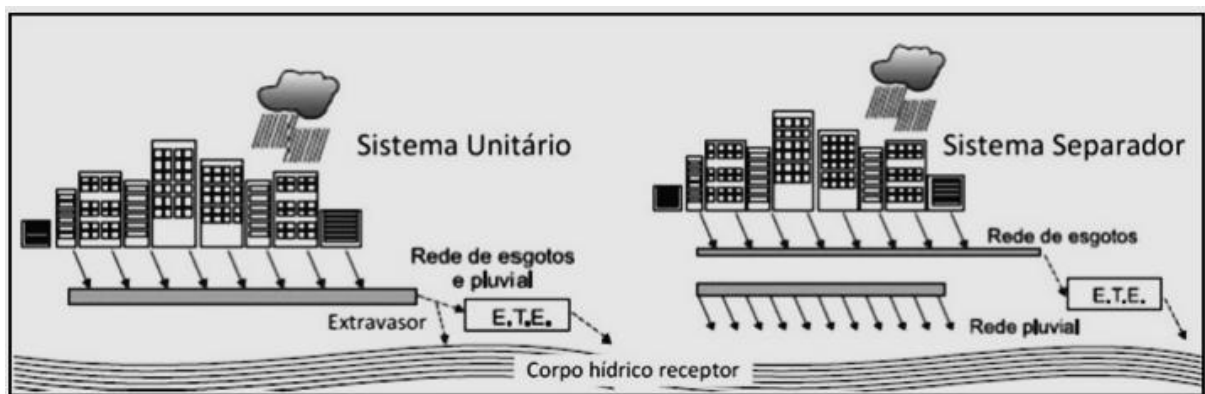
O sistema de esgotos pode ser definido como um conjunto de tubulações e componentes auxiliares cujo propósito principal é a captação e condução de águas residuárias até um ponto de destino, que geralmente consiste em um corpo d'água receptor. Dependendo das circunstâncias, essas águas residuárias podem ou não passar por algum processo de tratamento antes de serem liberadas (TSUTIYA; ALEM SOBRINHO, 2011).

Os sistemas integrais de esgotamento sanitário podem ser classificados em quatro categorias principais: individuais, que envolvem coleta, transporte e tratamento dentro da propriedade do usuário; coletivos, que abrangem sistemas condominiais com coleta, transporte e tratamento internos à propriedade, gerenciados pela coletividade; rurais, caracterizados por tratamentos descentralizados em áreas rurais, geralmente devido a grandes distâncias, sob a responsabilidade do proprietário rural; e urbanos, que incluem coleta a partir de ligações domiciliares ou prediais e/ou sistemas condominiais, com transporte dos esgotos para tratamento centralizado em bacias de esgotamento, operado por uma concessionária de serviço público de esgotamento sanitário (NUVOLARI *et al.*, 2003; TSUTIYA; ALEM SOBRINHO, 2011; FUNASA, 2019).

Dependendo da composição dos esgotos transportados, os sistemas de esgotamento sanitário podem ser categorizados em três tipos principais (Figura 3). O primeiro tipo, conhecido como sistema unitário ou combinado, conduz tanto os

esgotos sanitários quanto as águas pluviais em um único sistema. O segundo tipo, denominado sistema separador parcial, permite a presença de esgotos pluviais prediais em seu sistema, diferentemente do sistema separador absoluto, que se restringe a esgotos sanitários. Por fim, o terceiro tipo é o sistema separador, caracterizado pela existência de dois sistemas distintos de esgotamento: um para coletar, transportar e tratar os esgotos sanitários, e outro para coletar, transportar e descartar sem tratamento os esgotos pluviais. Além disso, há uma categoria disfuncional que mistura indiscriminadamente todos os tipos de esgotos, sem um planejamento adequado (COELHO, 2013; TSUTIYA; BUENO, 2004; FUNASA, 2019).

Figura 3 - Sistemas de esgotamento sanitários (unitário e separador)



Fonte: TSUTIYA; BUENO, 2004; FUNASA, 2019.

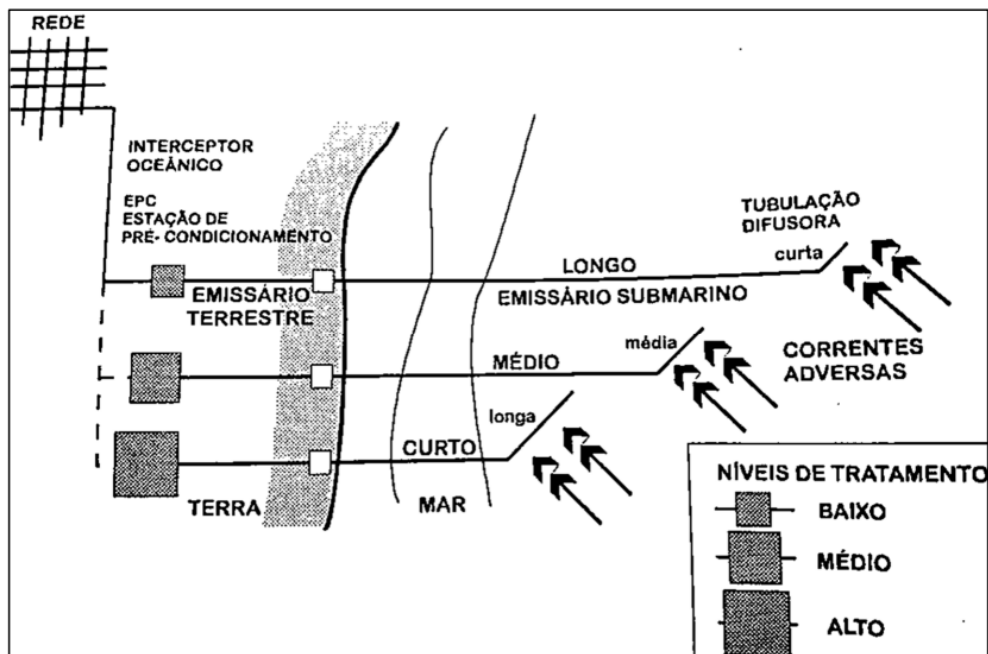
Os sistemas completos de esgotamento sanitário são compostos por várias unidades distintas que desempenham papéis imprescindíveis no processamento adequado dos resíduos. Em primeiro lugar, temos as instalações prediais, que estão localizadas intradomiciliariamente, onde os resíduos iniciais são gerados. Essas instalações são conectadas às ligações domiciliares, que formam a ligação entre as instalações privadas e o sistema de coleta pública (AISSE, 2000; NUVOLARI *et al.*, 2003; TSUTIYA; ALEM SOBRINHO, 2011).

A próxima etapa envolve o transporte dos esgotos, que pode ocorrer de diferentes maneiras. Parte dos esgotos é transportada por gravidade, através de coletores, galerias e troncos coletores que conduzem os fluidos sob pressão atmosférica. Outra parte é conduzida por meio de conduto forçado, com seção plena de fluido, como sifões, emissários e travessias. Além disso, há também o transporte por pressão, realizado por linhas de recalque de estações elevatórias de esgotos (EEE) (AISSE, 2000; NUVOLARI *et al.*, 2003; TSUTIYA; ALEM SOBRINHO, 2011).

Após a fase de transporte, os esgotos são direcionados para estações de tratamento de esgoto (ETE), que são projetadas de acordo com as características específicas dos esgotos e do corpo receptor. Essas ETEs podem conter um ou mais níveis de tratamento, dependendo das necessidades (SPERLING, 1996).

Por fim, a disposição final dos efluentes tratados pode ocorrer em corpos hídricos receptores superficiais ou subterrâneos, no solo através de infiltração, em aterros sanitários para resíduos sólidos e lodo (FLORES *et al.*, 2023), ou através da incineração de resíduos, gerando energia a partir do gás produzido, com a possibilidade de reutilização do lodo em tijolos e blocos na construção civil. Frequentemente o tratamento e a disposição final podem ser realizados por meio de emissários subaquáticos ou submarinos, com a Estação de Pré-Condicionamento (EPC) oferecendo diferentes níveis de tratamento, como baixo, médio e alto, cada um associado a um comprimento correspondente de emissário (Figura 4) (GONÇALVES; SOUZA, 1997; METCALF & EDDY, 1972, 2007).

Figura 4 - Níveis de tratamento de uma EPC



Fonte: GONÇALVES; SOUZA, 1997.

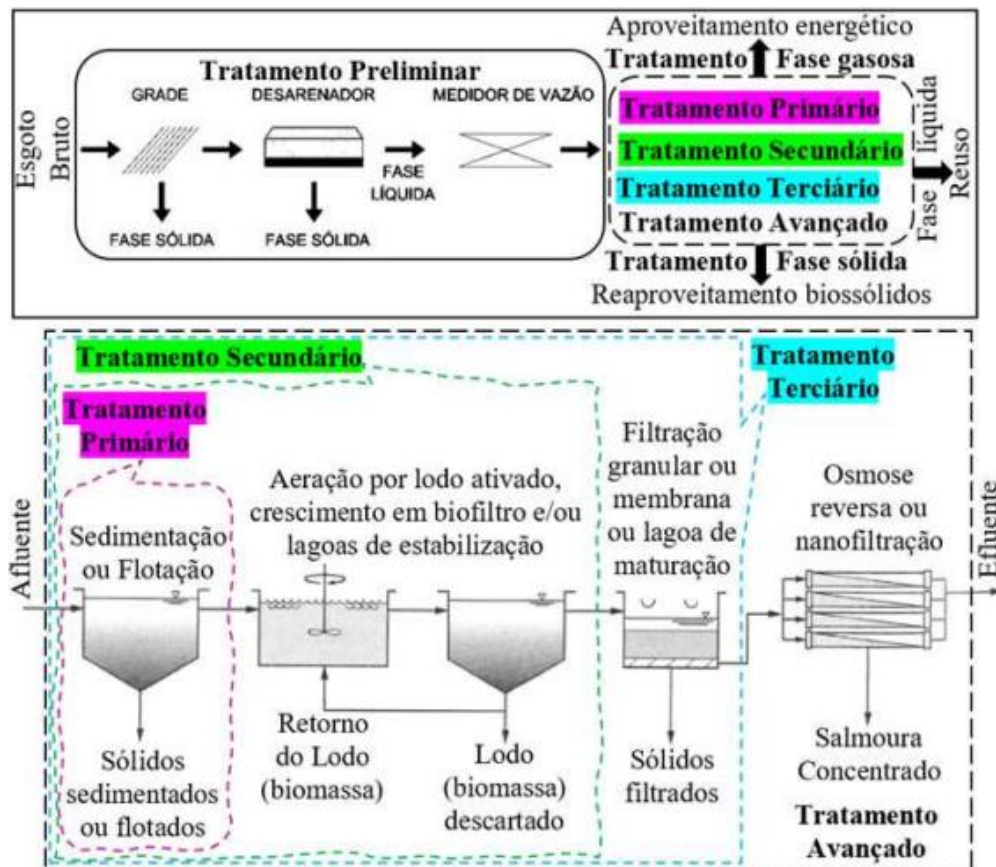
No que diz respeito aos diferentes níveis de tratamento nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), cada um tem um objetivo específico (Figura 5). O tratamento preliminar tem como principal finalidade a remoção de sólidos grosseiros, enquanto o tratamento primário concentra-se na eliminação de sólidos sedimentáveis e na redução de parte da matéria orgânica. Em ambos os casos, os principais

mecanismos envolvidos são de natureza física para a remoção de poluentes (METCALF & EDDY, 2003; SANTOS, 2007).

O tratamento secundário, por sua vez, está direcionado principalmente à remoção da matéria orgânica, podendo, em determinadas situações, também eliminar nutrientes como nitrogênio e fósforo. No tratamento terciário, que é relativamente raro no contexto brasileiro, o foco é a remoção de poluentes específicos, como nutrientes, metais ou compostos não-biodegradáveis, e pode ser usado para complementar a remoção de poluentes que não foram eliminados nas etapas anteriores (METCALF & EDDY, 2003; SANTOS, 2007).

Finalmente, o tratamento avançado, que também é pouco comum no Brasil, concentra-se na remoção de materiais suspensos e dissolvidos remanescentes, com o objetivo de possibilitar a reutilização da água tratada. Cada um desses níveis desempenha um papel fundamental no processo global de tratamento de esgoto, visando a eliminação eficiente de poluentes e a preservação do meio ambiente (METCALF & EDDY, 2003; SANTOS, 2007).

Figura 5 - Níveis de tratamento de uma ETE



Fonte: VON SPERLING, 1996; METCALF & EDDY, 2007 *apud* COELHO, 2020.

## 2.3 EMISSÁRIO SUBMARINO/SUBFLUVIAL COMO DISPOSIÇÃO DO ESGOTO SANITÁRIO

### 2.3.1 Conceito geral

O emissário submarino/subfluvial é uma infraestrutura hidráulica linear que estabelece a conexão entre a superfície terrestre e um corpo d'água receptor. Essa estrutura é composta essencialmente por três elementos principais (Figura 1). Primeiramente, há a estação de lançamento, localizada na parte terrestre, que pode incluir uma estação de tratamento de efluentes, seja industrial ou doméstico. Em seguida, temos o próprio emissário, cuja função principal é o transporte do efluente para o local específico de disposição, podendo ser feito por gravidade ou por meio de bombeamento. Por fim, o sistema difusor desempenha um papel crucial, onde um orifício ou conjunto deles direciona e dispersa o efluente no corpo d'água receptor (FORTIS, 2005).

Nesse sistema, a notável capacidade natural de autodepuração das águas marinhas/grandes rios é aproveitada para realizar o tratamento dos efluentes sanitários, reduzindo as concentrações de poluentes em níveis aceitáveis dentro da área conhecida como campo de mistura. Isso ocorre antes que a pluma de esgoto, ou seja, a região de mistura entre o esgoto e as águas do mar/rio, alcance as áreas destinadas às atividades de lazer, como banhos e esportes náuticos, bem como as áreas de aquicultura. Devido a sua notável capacidade de autodepuração, as águas marinhas/grandes rios possibilitam a diluição, a dispersão e a redução das cargas bacterianas poluentes lançadas em níveis aceitáveis (GONÇALVES; SOUZA, 1997; FREITAS, 2011).

Os emissários submarinos/grandes rios representam uma tecnologia eficaz, segura e relativamente econômica para a disposição final de efluentes sanitários. Quando são projetados adequadamente e combinados com um processo de condicionamento prévio, podem alcançar metas de qualidade da água e minimizar os impactos adversos no ambiente e na saúde pública. A disposição oceânica/grandes rios de efluentes, quando bem planejada e operada, emerge como uma alternativa economicamente viável e tecnicamente aceitável, especialmente em países com recursos financeiros limitados (JORDÃO; LEITÃO, 1990; FREITAS, 2011).

### 2.3.2 Componentes e funções

Os componentes que integram o sistema de disposição oceânica podem ser categorizados em quatro sistemas distintos. Primeiramente, temos a estação de pré-condicionamento (EPC), seguida por uma tubulação terrestre que conecta a EPC à chaminé de equilíbrio. Além disso, há uma tubulação submersa que se estende por longas distâncias em direção ao corpo receptor. Por último, o sistema inclui uma tubulação difusora, que desempenha o importante papel de lançar os efluentes no corpo receptor (Figura 1) (GONÇALVES; SOUZA, 1997).

#### 2.3.2.1 Estação de Pré-Condicionamento (EPC)

A EPC desempenha um papel fundamental na redução das concentrações de poluentes e contaminantes presentes nos esgotos brutos destinados à disposição final (Figura 6). Nessa etapa, ocorre a remoção de sólidos grosseiros, como grãos, plásticos, papéis, entre outros, por meio de processos como o gradeamento e a caixa de areia. No contexto brasileiro, as EPCs geralmente adotam um tratamento preliminar, e essa remoção de sólidos é de grande importância para diminuir a carga poluente e evitar o acúmulo desses materiais na tubulação a jusante do sistema (VON SPERLING, 1996; GONÇALVES; SOUZA, 1997).

Figura 6 - EPC do emissário de Araçá



Fonte: LAMPARELLI *et al.*, 2007.

Além das etapas de gradeamento e caixa de areia, a desinfecção com cloro gasoso ( $\text{Cl}_2$ ) é um processo amplamente empregado no estágio final do pré-condicionamento. No entanto, esse método de desinfecção é criticado devido à potencial formação de compostos orgânicos halogenados, como os Trihalometanos, que são substâncias tóxicas e cancerígenas. A preocupação reside no fato de que esses compostos podem contaminar o ambiente marinho/fluvial quando descartados no mar/rios juntamente com os efluentes sanitários, o que levanta preocupações significativas em relação ao impacto ambiental (YANG, 2000).

A escolha do nível de tratamento na EPC – seja preliminar, primário ou secundário – deve ser determinada por meio de uma análise técnica, econômica e ambiental. Essa análise deve levar em consideração fatores como a composição do esgoto, os padrões de qualidade do corpo receptor, o grau de dispersão do corpo receptor e a localização do ponto de lançamento (FREITAS, 2011).

#### 2.3.2.2 Chaminé de equilíbrio

A chaminé de equilíbrio desempenha funções hidráulicas cruciais (Figura 7), incluindo: 1) assegurar que o fluxo no interior do emissário ocorra sob pressão, servindo como um regulador da energia ao longo da linha de esgoto; 2) garantir a manutenção de um nível de energia adequado a montante, permitindo a superação de todas as perdas de carga e assegurando que as vazões e velocidades de projeto sejam alcançadas. Importante destacar que a não conformidade com o volume mínimo na chaminé de equilíbrio não resulta na interrupção do funcionamento do sistema, mas implica na impossibilidade de atingir os níveis ótimos de velocidade e diluição previstos no projeto (CHAVES, 2014).

Além disso, a chaminé de equilíbrio desempenha um papel crucial na prevenção do chamado "golpe de aríete", que pode ocorrer em situações de queda abrupta na carga de água, como durante a parada do sistema de bombeamento. Ela também garante que não haja refluxo do efluente em momentos de baixo fluxo e maré alta. Isso se torna especialmente essencial quando tubos de polietileno de alta densidade (PEAD) são utilizados, pois, ao evitar a entrada de ar, a chaminé impede qualquer flutuação indesejada na tubulação (FREITAS, 2011).

Figura 7 - Chaminé de equilíbrio do emissário das Cigarras



Fonte: LAMPARELLI *et al.*, 2007.

### 2.3.2.3 Emissário

A tubulação que compõe o emissário desempenha o papel de transportar o efluente pré-tratado desde a chaminé de equilíbrio até o ponto de descarga no difusor, onde é lançado no corpo receptor. Esta tubulação representa o componente mais oneroso de todo o sistema e requer uma atenção considerável, especialmente no que diz respeito à sua integridade estrutural (CHAVES, 2014).

A construção de emissários subaquáticos apresenta desafios significativos relacionados à preparação e ao assentamento da tubulação tanto em terra quanto na água. Isso ocorre principalmente devido às variações na hidrodinâmica do corpo d'água. Portanto, a construção deve ser cuidadosamente estudada, planejada e integrada ao projeto global, com a criação de uma harmonia entre os materiais utilizados na tubulação, os tipos de juntas, os suportes empregados, os equipamentos e as técnicas disponíveis. Essa abordagem é essencial para assegurar o sucesso da obra e a eficácia do emissário subaquático (CHAO; MOTTA PACHECO, 1979; WRC, 1990).

Os materiais mais comuns empregados na construção de emissários incluem o aço, o concreto, o polietileno de alta densidade e o ferro fundido (AVANZINI, 2000; DALE, 2002; GRACE, 1978; KOMEX, 2002; LINGURI; LISSONI, 2000; MATSUSHITA, 1979; PPI, 2004).

O aço é o material mais comumente utilizado na fabricação de emissários, sendo adequado para diversos diâmetros e amplamente disponível em várias regiões, com uma presença significativa na indústria *offshore* de óleo e gás. Suas principais vantagens incluem alta resistência, leveza e facilidade de construção, muitas vezes dispensando o uso de pesos estabilizadores em condições hidrodinâmicas específicas. No entanto, é importante mencionar suas desvantagens, como o alto custo de implantação e produção, a susceptibilidade à corrosão e a necessidade de equipamentos pesados para a instalação, além da possibilidade de enterramento (inclusive ancoragem) em profundidades substanciais (Figura 8).

Figura 8 - Emissário submarino de aço com tubulação difusora



Fonte: TIDEFLEX, 2009 *apud* TAVARES, 2010.

As tubulações de concreto, geralmente do tipo Portland, são amplamente empregadas para a coleta e transporte de esgotos domésticos, bem como para a drenagem urbana, com aplicação também em emissários submarinos. Elas se destacam por sua rigidez, dispensando a necessidade de pesos estabilizadores, além de serem de fabricação relativamente simples e de custo reduzido. Entretanto, apresentam desvantagens como propensão a vazamentos, agravada pelo grande número de juntas necessárias, a exigência de equipamentos pesados para posicionamento e instalação, bem como a vulnerabilidade ao ataque de ácidos e sulfeto de hidrogênio presentes nos efluentes doméstico (Figura 9).

Figura 9 - Tubulação de concreto armado do emissário de Thessaloniki



Fonte: SPYROPOULOS; ANDRIANIS, 2003.

O polietileno de alta densidade (PEAD) surgiu como um material pioneiro para instalações subaquáticas na década de 60, especialmente nos países nórdicos, e tem gradualmente ganhado aceitação em projetos de emissários submarinos. Notavelmente, o PEAD se destaca como o material mais empregado nesse contexto, devido às várias vantagens técnicas que oferece em comparação com outras opções. Entre as principais vantagens estão sua flexibilidade, leveza, menor tempo de construção, ausência de necessidade de revestimento ou proteção contra corrosão, bem como a dispensa de juntas mecânicas, além de sua alta ductilidade. No entanto, é importante observar algumas desvantagens, como a menor resistência em comparação com materiais convencionais a impactos causados por embarcações e âncoras, a exigência de pesos de lastro para estabilidade e uma maior rigidez estrutural para evitar a flambagem do emissário (Figura 10).

Figura 10 - Tubulação de PEAD do emissário de Bata (Guiné Equatorial)



Fonte: ETEMAR, 2023.

Os tubos de ferro fundido representam uma alternativa de menor custo em comparação com o aço carbono revestido, especialmente quando utilizados em tubulações com diâmetro de até 0,3 m. Embora apresentem resistência a alguns tipos de efluentes, líquidos e até mesmo à água, ocasionalmente podem ser propensos a incrustações no interior da tubulação. Devido a essa característica, esses tubos são frequentemente revestidos internamente com uma camada de cimento, o que não apenas reduz o risco de incrustações, mas também melhora a capacidade de escoamento da tubulação (Figura 11).

Figura 11 - Conexão de tubulação de ferro fundido



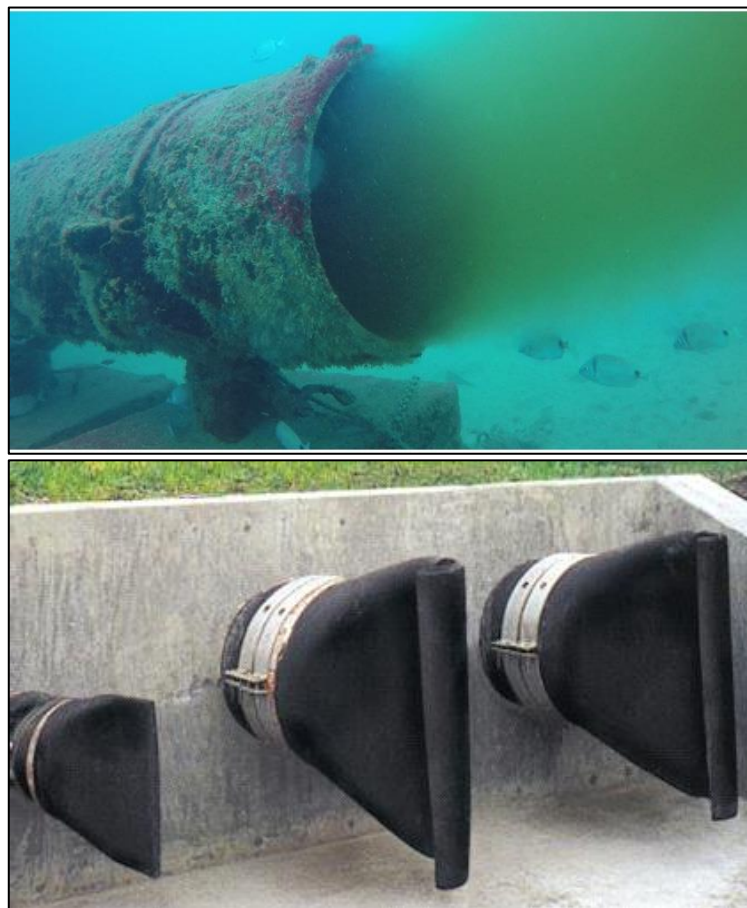
Fonte: DIPRA, 2001.

### 2.3.2.4 Difusor

Posicionado na extremidade final do emissário, o difusor desempenha uma função essencial ao descarregar as águas residuais pré-tratadas diretamente no corpo receptor (Figura 12). Assume um papel de grande importância do ponto de vista hidráulico, sendo responsável pela primeira mistura do efluente com a água do corpo receptor. A capacidade desse processo de mistura, quantificada pelo parâmetro conhecido como "diluição inicial", desempenha um papel determinante na eficácia ambiental de todo o sistema, sendo um dos fatores mais significativos a considerar (GONÇALVES; SOUZA, 1997; CHAVES, 2014).

Normalmente, o número de orifícios na tubulação difusora está diretamente relacionado ao aumento do parâmetro de diluição inicial no sistema. Quanto mais complexa for a geometria do sistema difusor, mais eficaz será a mistura entre o corpo receptor e o volume de águas residuais que está sendo descarregado (METCALF & EDDY, 2003; CHAVES, 2014).

Figura 12 - Válvulas de orifício fixo e variável ("duckbill")



Fonte: REDVALVE, 2004; HIB, 2023.

### 2.3.3 Emissários no Brasil e mundo

A prática de utilizar emissários subaquáticos para a disposição de efluentes residuais pré-tratados no oceano/grandes rios é amplamente difundida em todo o mundo. Assim como em outras obras de Engenharia Civil, ocasionalmente surgem casos atípicos de grande interesse que buscam explorar os limites da aplicabilidade de um emissário submarino (CHAVES, 2014). O lançamento por meio de emissários também foi amplamente implementado em cidades situadas às margens de grandes rios e lagos. Exemplos notáveis incluem os sistemas de emissários em Toronto (1911), Cleveland (1916), Ashtabula (1925) e Manaus (1972) (NETTO; JEZLER, 1957).

No Brasil e em todo o mundo, o uso de emissários subaquáticos é amplamente adotado em áreas costeiras, e vários projetos se destacam nessa prática (Quadro 1).

Quadro 1 - Exemplos de emissários subaquáticos utilizados no Brasil e mundo

Estado/Cidade (Bairro)	Ano	Material	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Dimensões (m)		
				L	H	D
Pará (Belém)	1980	CA	0,6	320	5	0,8
Ceará (Fortaleza)	1970	CA	4,2	2.300	15	1,5
Rio de Janeiro (Ipanema)	1970	CA	12	4.325	26	2,4
Rio de Janeiro (Barra da Tijuca)	2007	PEAD	1,6	5.000	45	1,5
Rio de Janeiro (Rio das Ostras)	2007	PEAD	0,57	3.800	20	0,6
Rio de Janeiro (Niterói)	2000	CA	2,2	3.505	20	1,4
São Paulo (Santos)	1978	Aço	7,0	4.000	10	1,8
São Paulo (São Sebastião-Cigarras)	1985	PEAD	0,012 <sup>l</sup>	1.068	8,5	0,2
São Paulo (São Sebastião - Araçá)	1991	PEAD	1,06 <sup>l</sup>	1.061	8	0,4
São Paulo (Praia Grande I- Forte)	1996	PEAD	1,04 <sup>l</sup>	3.300	13	1
São Paulo (Praia Grande II- Tupi)	1996	PEAD	1,36 <sup>l</sup>	3.300	13	1
São Paulo (Praia Grande III- Caiçara)	-	PEAD	1,4	3.400	10	1,5
São Paulo (Guarujá)	1998	PEAD	1,5	4500	14	0,9
Alagoas (Maceió)	1980	Aço	4,2 <sup>l</sup>	3.576	15	1,2
Sergipe (Aracaju - industrial)	-	Aço	0,3	1.500	10	0,5
Espírito Santo (Vitória)	-	CA	2,1	4.035	29	2,1
Bahia (Salvador- Rio Vermelho)	1970	PEAD	3,0	3.600	27	1,8
Rio Grande do Sul (Porto Alegre)	-	Aço	2,7	733	12	1,3
Amazonas (Manaus)	-	PEAD	2,2	3.600	-	1
Roraima (Boa Vista)	-	PEAD	-	1.352	-	0,4
Espírito Santo (Aracruz)	-	PPL	2,0	1.100	-	1
Los Angeles (Hollywood)	-	-	1,75	3.060	28,5	-

Flórida (Miami-Dade Central District)	-	-	5,53	5.732	28,2	-
Flórida (Delray Beach)	-	-	0,7	1.594	29	-
PEAD – Polietileno de alta densidade	D – Diâmetro (em m)					
CA – Concreto Armado	L – Comprimento (em m)					
Aço – Aço Revestido de Concreto Armado	H – Profundidade (em m)					
PPL – Polipropileno	I – Vazão máxima					

Fonte: Adaptado de GONÇALVES; SOUZA, 1997; MARCELLINO, 2008; CETESB, 2006, 2010; SALAS, 2000.

## 2.4 ENQUADRAMENTO LEGAL PARA LANÇAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS EM CORPOS RECEPTORES

O uso da legislação é um dos instrumentos legais essenciais na gestão das águas costeiras. O Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC), parte integrante da Política Nacional para os Recursos do Mar (PNRM) e da Política Nacional do Meio Ambiente, foi estabelecido pela Lei nº 7.661, de 16 de maio de 1988. Seu propósito principal é direcionar a utilização responsável dos recursos naturais na Zona Costeira, visando contribuir para a qualidade de vida da população e proteger seu patrimônio natural, histórico, étnico e cultural (BRASIL, 1988).

A Resolução nº 005, de 03 de dezembro de 1997, aprovou o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro II (PNGC II), com o objetivo de adaptar o PNGC à sua aplicação efetiva, levando em consideração a experiência adquirida e incorporando as novas necessidades da sociedade (BRASIL, 1997).

Devido ao potencial de poluição associado aos emissários submarinos/fluviais, eles devem passar pelo processo de licenciamento ambiental, conforme estabelecido na Resolução CONAMA nº 237, datada de 19 de dezembro de 1997. As condições e padrões de qualidade das águas necessários para atender aos usos predominantes, presentes e futuros, são definidos pela legislação ambiental em vigor e pelos órgãos responsáveis pela gestão do meio ambiente (RODRIGUES, 2012; BRASIL, 1997).

As condições e padrões de emissão estabelecidos para regular os lançamentos de efluentes no corpo receptor, conforme apresentados no Quadro 2, fornecem diretrizes essenciais para proteger o uso predominante desse recurso.

As águas salinas são claramente identificadas como o corpo receptor em sistemas que empregam emissários submarinos. Já para sistemas que utilizam emissários em águas salobras e/ou doces, adota-se a nomenclatura "emissário

subfluvial", considerando que o corpo receptor consiste em rios, canais e outros corpos de água com essas características (RODRIGUES, 2012). A classificação das águas salinas, de acordo com a legislação federal, é especificada no Quadro 3.

Quadro 2 - Legislação pertinente à qualidade da água e ao lançamento de efluentes

<b>Padrão de qualidade do corpo receptor</b>	Resolução CONAMA nº 357 de 17 de Março de 2005.
<b>Lançamento de efluentes</b>	Resolução CONAMA nº 430, de 13 de Maio de 2011 que altera parcialmente e complementa a Resolução CONAMA Nº357, de 17 de março de 2005.
<b>Condições e padrões de balneabilidade, necessárias à recreação de contato primário</b>	Resolução CONAMA nº 274, de 29 de Novembro de 2000.

Fonte: Adaptado de BRASIL, 2000, 2005, 2011.

Quadro 3 - Classificação dos corpos hídricos segundo o seu uso preponderante

<b>Classes</b>	<b>Uso preponderante da água</b>
E	a) ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção; b) à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; c) à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.
1	a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; b) à proteção das comunidades aquáticas; c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme resolução CONAMA nº 274/2000; d) à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e) à proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.
2	a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; b) à proteção das comunidades aquáticas; c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme resolução CONAMA nº 274/2000; d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e) à aquicultura e à atividade de pesca.
3	a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; b) à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; c) à pesca amadora; d) à recreação de contato secundário; e) à dessedentação de animais.
4	a) à navegação; b) à harmonia paisagística.

Fonte: Adaptado de BRASIL, 2005.

Para o parâmetro coliforme termotolerante (CT), é necessário atender às condições presentes no Quadro 4. De acordo com a Resolução CONAMA nº

274/2000, as águas salinas, salobras e doces destinadas à recreação de contato primário serão avaliadas em termos de sua adequação nas categorias própria e imprópria. A classificação como própria ou imprópria segue as subdivisões descritas no Quadro 4 (BRASIL, 2000).

O CONAMA, por meio da Resolução nº 430, estabelece as condições, parâmetros, padrões e diretrizes para a gestão dos lançamentos de efluentes em corpos de água receptores. Essa resolução, que complementa e modifica parcialmente a Resolução nº 357 de 2005, aborda especificamente os lançamentos de efluentes por meio de emissários submarinos. O Artigo 20 da Resolução CONAMA nº 430/2011 estabelece as condições e padrões a serem observados para o lançamento de efluentes tratados por esse meio (BRASIL, 2005, 2011).

Quadro 4 - Classificação da balneabilidade segundo o CONAMA

<b>Excelente</b>	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 <i>Escherichia coli</i> ou 25 <i>Enterococcus</i> por 100 mililitros
<b>Muito Boa</b>	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 <i>Escherichia coli</i> ou 50 <i>Enterococcus</i> por 100 mililitros
<b>Satisfatória</b>	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 <i>Escherichia coli</i> ou 100 <i>Enterococcus</i> por 100 mililitros.

Fonte: Adaptado de BRASIL, 2000.

Para o lançamento de efluentes de origem sanitária por meio de emissários subaquáticos, é fundamental assegurar o cumprimento de condições e padrões específicos. Esses requisitos incluem a manutenção do pH dentro da faixa de 5 a 9, a temperatura do efluente inferior a 40°C (com variação de temperatura limitada a 3°C na zona de mistura), a obrigatoriedade de desarenação do efluente, a quase inexistência de sólidos grosseiros e materiais flutuantes, e uma eficiência mínima de remoção de 20% para sólidos em suspensão totais após o processo de desarenação (BRASIL, 2011, Artigo 22).

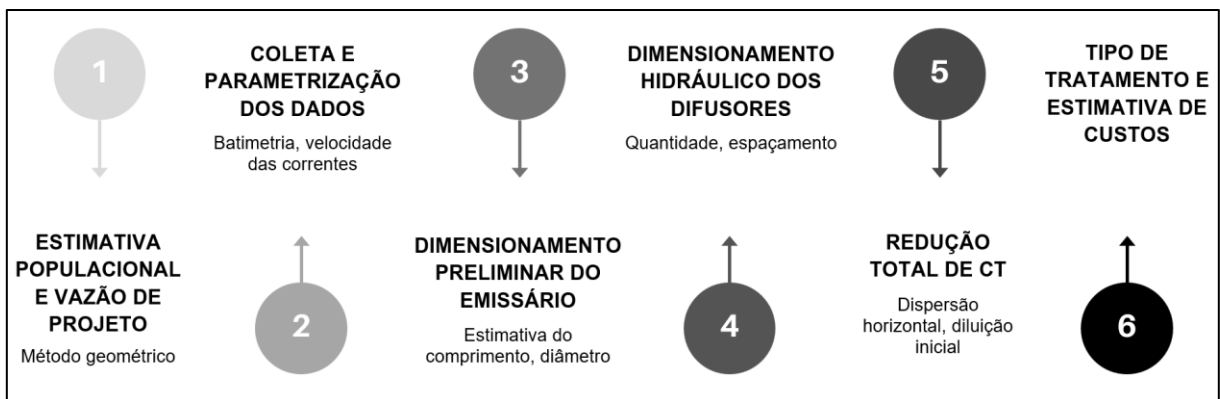
O cumprimento dessas normas visa a garantir a preservação do meio ambiente marinho/fluvial e a proteção da saúde pública (sanitária). O lançamento de efluentes tratados por emissários subaquáticos é regulado pela Resolução CONAMA nº 430/2011, que estabelece as condições e padrões apropriados para essa prática, assegurando a conformidade com as diretrizes ambientais e sanitárias estabelecidas (BRASIL, 2011).

### 3 METODOLOGIA

As etapas metodológicas da pesquisa foram desenvolvidas, inicialmente, com a estimativa populacional e determinação da vazão de efluente gerado por contingente populacional estimado, em seguida, realizado a coleta e parametrização dos parâmetros pertinentes, como dados batimétricos e velocidade das correntes no local. Posteriormente, determinou-se o dimensionamento preliminar do emissário que inclui a estimativa do comprimento e determinação do diâmetro e espessura da tubulação do emissário, após isso, dimensionou-se a quantidade e espaçamento dos difusores, além do comprimento total da tubulação difusora.

A validação do comprimento total do emissário estimado foi verificada pelo método da redução total de coliformes termotolerantes, utilizou-se os seguintes parâmetros: dispersão horizontal, diluição inicial e decaimento bacteriano. Por fim, determinou-se o tipo de tratamento adotado na EPC e o material para a tubulação e tipologia dos difusores, além da estimativa de custos materiais, referentes a tubulação e válvulas (Figura 13).

Figura 13 - Etapas metodológicas da pesquisa



Fonte: Autor (2023).

Os parâmetros e cálculos estão detalhados no Apêndice A, e os custos marginais de material (tubulação e difusores) constam no Apêndice B.

#### 3.1 ESTIMATIVA POPULACIONAL E VAZÃO DE PROJETO

O método utilizado para a estimativa populacional ocorreu mediante aplicação do método geométrico (Plano Municipal de Macapá – PMSB, 2018), sendo a taxa de crescimento da população proporcional à população existente num determinado período (VON SPERLING, 2005), por meio da Equação 1:

$$K_g = \frac{\ln P_1 \times \ln P_0}{t_1 - t_0} \quad (1)$$

Determinando-se a taxa de crescimento geométrica é possível determinar a população futura por meio da Equação 2:

$$P = P_1 \times e^{K_g \times (t - t_1)} \quad (2)$$

Onde  $K_g$  é a taxa constante,  $P$  é a população futura (em habitantes),  $P_1$  é a população no último censo (em habitantes),  $P_0$  é a população no penúltimo censo (em habitantes),  $t$  é o ano da população estimada em 20 anos,  $t_1$  é o ano do último censo e  $t_0$  é o ano do penúltimo censo.

A estimativa de consumo de água per capita ( $q$ , em L/hab./dia) pode variar conforme o porte populacional, sendo que para uma população final acima de 100.000 habitantes se estima um  $q$  de 250 a 300L/hab./dia (FUNASA, 2015). O coeficiente de retorno ( $Cr$ ) é a relação média entre o volume de esgoto gerado e de água consumida, sendo recomendado um valor equivalente a 0,8 (ABNT, 1986).

Os coeficientes de variação de vazão ( $K$ ) são definidos pela NBR 9649 (ABNT, 1986), onde o coeficiente de máxima vazão diária ( $K_1$ ) corresponde ao dia de maior consumo, equivale a 1,20. Para o coeficiente de máxima vazão horária ( $K_2$ ) é estipulado um valor de 1,50, e por fim, para o coeficiente de mínima vazão horária ( $K_3$ ) que relaciona a vazão mínima com a média anual, recomenda-se um valor de 0,50.

Dessa forma, é possível determinar a vazão de projeto ( $Q$ ) mediante estimativa populacional, conforme a Equação 3:

$$Q = \frac{P \times q \times Cr \times K_1 \times K_2}{86400} \quad (3)$$

### 3.2 BATIMETRIA E CARACTERÍSTICAS DO LEITO DO RIO

A batimetria da área de estudo foi realizada com o auxílio da carta náutica 204 – “Das Ilhas Pedreira à Ilha de Santana”, e 206 – “Canal de Santana”, da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DNH) da Marinha do Brasil (BRASIL, 2021b), conjugadas com os resultados da modelagem hidrodinâmica da área mediante utilização do *software* Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental (SisBaHiA) (ABREU *et al.*, 2020; CUNHA *et al.*, 2021; ARAÚJO *et al.*, 2022).

A zona costeira estuarina do Amapá apresenta a areia como sedimento predominante de fundo, desde a região do alto estuário do Rio Amazonas até a sua

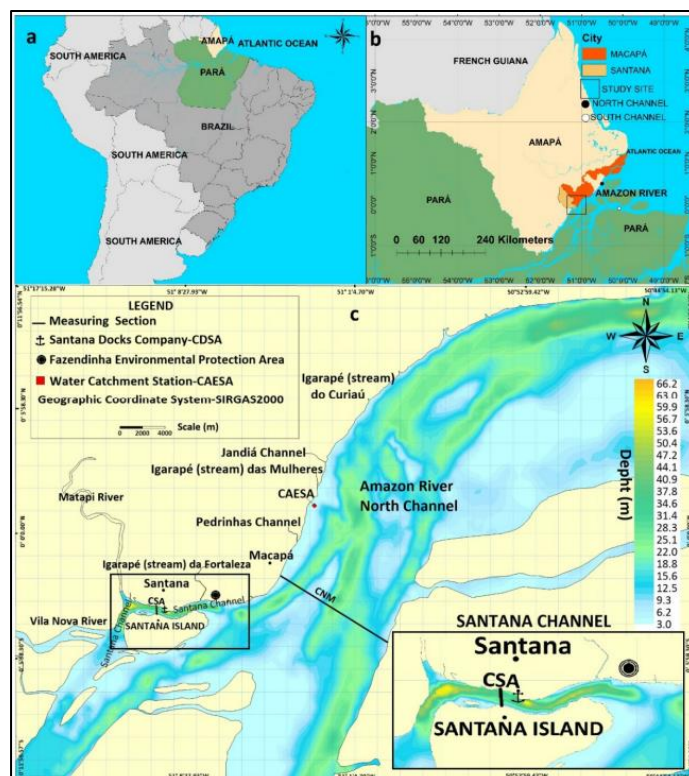
foz na porção sul da plataforma continental. Acrescenta-se a ocorrência de depósitos de lama nas margens, planícies de maré e zonas de menor dinâmica (AMASSEDS, 1990; VITAL e STATTEGGER, 2000; DUNNE *et al.*, 1998). Essa característica no leito do Rio Amazonas contribui para a configuração das estruturas de fundo e setoriza a morfologia de acordo com a zona fluvial analisada, como a manifestação das barras arenosas de maré, ondas de areia e cristas arenosas, expostas durante a baixa maré (SANTOS *et al.*, 2002).

### 3.3 VELOCIDADE DA CORRENTE NO LOCAL

Para a determinação da corrente de projeto, necessitou-se observar a carta de correntes do Rio Amazonas – “Da barra norte ao porto de Santana”, da DNH da Marinha do Brasil (BRASIL, 1981) e dos resultados da modelagem hidrodinâmica da área de estudo (ABREU *et al.*, 2020), conforme a Figura 14.

Sendo o objetivo deste trabalho pré-dimensionar os emissários subaquáticos sob as condições mais verossímeis possíveis, de modo a observar as características de cada ponto determinado para as suas implementações, ou seja, a corrente de projeto arbitrada para o dimensionamento dos emissários propostos é a média obtida da coluna d’água na modelagem hidrodinâmica (ABREU *et al.*, 2020).

Figura 14 - Batimetria da área de estudo



Fonte: ABREU *et al.*, 2020.

### 3.4 DECAIMENTO BACTERIANO E ZONA DE PROTEÇÃO

A quantidade e a distribuição de bactérias indicadoras de contaminação fecal no ambiente fluvial e marinho dependem da dispersão provocada pelas correntes locais (CARVALHO, 2003). Usualmente, a razão de decaimento bacteriano é representada em função do parâmetro  $T_{90}$ , o qual é caracterizado pelo tempo de desaparecimento de 90% de uma população inicial de bactérias (coliformes termotolerantes - CT). Esse parâmetro é normalmente mensurado *in situ* em estudos de modelagem da pluma de emissários submarinos/subfluviais.

A densidade de coliformes fecais típica do esgoto bruto ( $C$ ) corresponde a  $10^7$  NMP/100mL (GONÇALVES *et al.*, 2003), sendo que o padrão microbiológico para corpos d'água não deve ser excedido do limite de  $10^3$  coliformes termotolerantes por 100mL ( $C_0$ ) em 80% ou mais, pelo menos, seis amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral (BRASIL, 2005).

A zona de balneabilidade é considerada uma faixa de 300 m a partir da linha da costa (linha de areia da praia) (Figura 1), sendo uma zona de proteção considerada no dimensionamento do emissário subfluvial (FREITAS, 2011).

### 3.5 DIMENSIONAMENTO PRELIMINAR DO EMISSÁRIO

Foi empregado o modelo denominado RSB para a determinação da diluição inicial, a aproximação de Brooks para a determinação da dispersão horizontal e o modelo de Chick para a determinação do decaimento bacteriano (ROBERTS *et al.*, 1989a; 1989b; 1989c). É importante ter os dados iniciais de entrada, tais como: a vazão de projeto máxima ( $Q_{max}$ ), a velocidade da corrente de projeto ( $v$ ), a profundidade no final do comprimento do emissário ( $H$ ), o comprimento desejado/estimado do emissário ( $L$ ), a zona de proteção ( $Z_p$ ) e o comprimento total do emissário ( $L_{total}$ ), conforme a Equação 4.

$$L_{total} = L + Z_p \quad (4)$$

O diâmetro externo da tubulação do emissário ( $D_e$ ) foi determinado por meio da Equação 5, sendo necessário adotar uma velocidade máxima do fluxo ( $V_{max}$ ) no valor de 2,5 m/s. O diâmetro externo adotado ( $D_{adot}$ ) necessitou da consulta de uma tabela com dimensões comerciais de tubos PEAD circulares, sendo o valor de  $D_e$  aproximado para um valor acima do dimensionado em prol da segurança (FGS, 2020).

$$De = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times V_{max}}} \quad (5)$$

O dimensionamento hidráulico da tubulação de PEAD considera as classes de pressão normalizadas para a temperatura de 25°C e vida útil de 50 anos, as quais são representadas por pressão nominal (PN), ou seja, as classes PN 8 e PN 10 correspondem, respectivamente, a 0,8 MPa e 1 MPa. Sendo as classes mais comuns diferenciadas pelo tipo de resina, a PE80, que pode ser utilizada para pressão de até 400kPa, e a PE100, que suporta pressões de até 700kPa. A espessura da tubulação pode ser obtida pela fórmula simplificada da tensão circunferencial de dimensionamento (Equação 6) (DANIELETTO, 2007).

$$s = \frac{p \times Dadot}{2 \times \sigma + p} \quad (6)$$

Onde  $p$  é a pressão nominal e  $\sigma$  é a tensão de projeto em 50 anos.

A tubulação de PEAD é designada pelo SDR, o qual é um valor adimensional que relaciona o diâmetro externo e a espessura mínima da parede do tubo, conforme a Equação 7 (SILVA, 2018). Sendo assim, cada SDR é associado a uma classe de pressão do tubo (PE80 e PE100).

$$SDR = \frac{Dadot}{s} \quad (7)$$

Usualmente, emprega-se a tubulação PEAD PE80 até o diâmetro de 90mm com SDR 11, enquanto para diâmetros acima de 200mm se utiliza o PE100 com SDR 17, sendo acrescido em média uma variação de preço de 20% quando comparado com o PE80 (SILVA, 2018).

### 3.6 DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DOS DIFUSORES

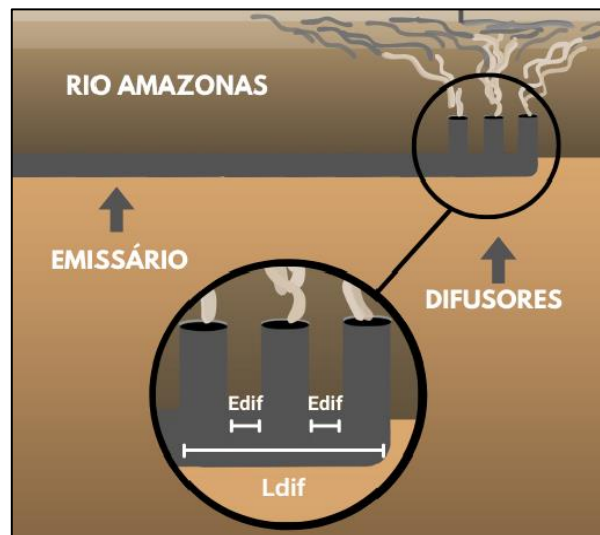
Os difusores são posicionados na porção final dos emissários e possuem a função de descarregar as águas residuais pré-tratadas no rio ou oceano. Desempenham um importante papel do ponto de vista hidráulico, visto que são responsáveis por realizar a primeira mistura do efluente com o corpo hídrico receptor (CHAVES, 2014). A utilização de sistema difusores multiorifícios é fundamental para garantir a qualidade da água após o processo de diluição inicial do efluente na zona de mistura (FORTIS, 2005).

Considerou-se uma configuração simples de sistema difusor, no qual os orifícios estão igualmente espaçados e possuem o mesmo diâmetro de saída, apesar de não ser uma configuração ideal, visto que os orifícios mais próximos da costa descarregarão um maior volume de efluente (WILKINSON; WAREHAM, 1996). O posicionamento do sistema difusor é determinado em função da natureza do leito do rio, da profundidade e das correntes (cotas topobatimétricas). É geralmente orientado perpendicularmente à corrente dominante, a fim de se obter a máxima diluição inicial, sendo o tipo em “L” recomendado para essa situação (CASCAES, 1991).

O cálculo dos difusores considera algumas premissas, dentre as quais destacam-se:

- (1) Espaçamento dos orifícios ( $E_{dif}$ ), determinando-se que a diluição máxima é obtida quando o espaçamento varia entre 1/5 e 1/10 da altura da coluna de água no ponto mais profundo do emissário (LISETH, 1976) (Figura 15);

Figura 15 - Parâmetros construtivos da tubulação difusora



Fonte: Autor (2023).

- (2) Diâmetro mínimo do orifício, recomendando-se um valor entre 70 e 100 mm na condição do efluente receber somente um tratamento preliminar (WILKINSON; WAREHAM, 1996; WOOD *et al.*, 1993);
- (3) Área do orifício, sendo que o conjunto das áreas dos orifícios não deve ultrapassar 70% da área da tubulação do emissário, considerando-se que um valor ótimo deve variar entre 33% e 66% (GRACE, 1978; FREITAS, 2011);
- (4) Velocidade do efluente na tubulação, deve impedir ou prevenir o depósito dos sólidos carregados, sendo as velocidades mínimas variando entre 0,6 a 0,9 m/s (GRACE, 1978);

- (5) Velocidade do efluente nos orifícios, sendo 30% acima da velocidade no tubo com vazão mínima (FREITAS, 2011);
- (6) Vazão unitária, recomenda-se um valor máximo de vazão unitária de 11,0 L/s/m (METCALF & EDDY, 1991).

### 3.7 REDUÇÃO TOTAL DA DENSIDADE DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES

O modelo RSB, para o caso de variação linear da densidade, permite estimar a diluição inicial para diferentes estruturas de correntes, com ou sem estratificação. Considera os seguintes parâmetros: fluxo de vazão ( $q$ ), sendo correspondente a razão entre a vazão média ( $Q_{med}$ ) e o comprimento do difusor ( $L_{dif}$ ); fluxo de momento ( $m$ ), sendo a multiplicação entre a velocidade da corrente ( $v$ ) e o fluxo de vazão ( $q$ ); fluxo de boiância ( $b$ ), sendo a multiplicação entre o fluxo de vazão ( $q$ ) e a aceleração modificada da gravidade ( $g_0$ ) (Equação 8); frequência de boiância ( $N$ ) (Equação 9); e o número de Froude-Roberts ( $F$ ) (Equação 10).

$$g_0 = \frac{g(\rho_a - \rho_0)}{\rho_a} \quad (8)$$

Onde  $\rho_a$  corresponde a massa específica do corpo receptor à saída dos orifícios,  $\rho_0$  é a massa específica do efluente e  $g$  é a aceleração da gravidade no local.

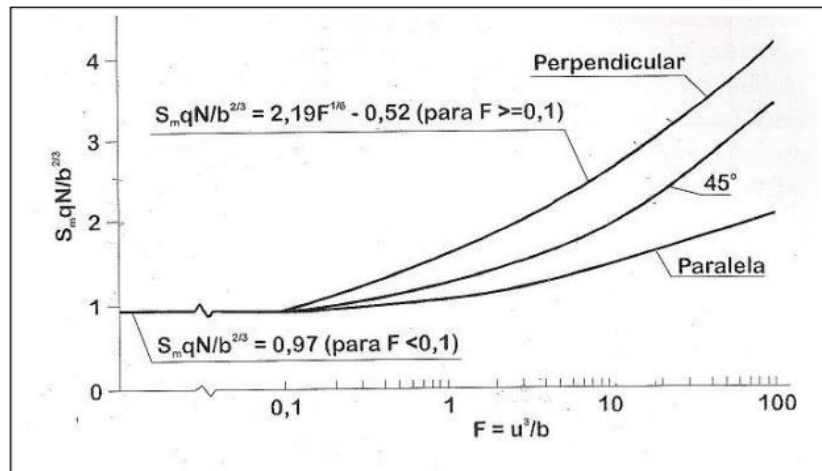
$$N = \left(\frac{g}{\rho_a} \times \frac{d_p}{d_z}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

Onde  $d_p$  é a diferença entre a massa específica da água da superfície e a do fundo,  $d_z$  é o comprimento total dos difusores.

$$F = \frac{v^3}{b} \quad (10)$$

Considerando que a densidade varia de maneira linear ao longo da coluna de água e que as correntes incidem a 45° do difusor, por meio da relação empírica evidenciada na Figura 16, é possível determinar a diluição inicial mínima ( $D_1$ ).

Figura 16 - Relação empírica da diluição inicial mínima



Fonte: ROBERTS *et al.*, 1989a; 1989b; 1989c.

A dispersão horizontal ( $D_2$ ) é determinada a partir da aproximação de Brooks que utiliza um modelo determinístico (Figura 17) para estudo do comportamento da pluma de esgoto. É necessário utilizar como dados de entrada o comprimento estimado do emissário ( $L$ ), a velocidade da corrente no local ( $v$ ) e o comprimento total dos difusores ( $Ldif$ ).

A redução por decaimento bacteriano utilizou o modelo desenvolvido por Chick, expressado pela Equação 11 e complementado pela solução gráfica dessa equação (Figura 18), sendo necessário os dados de entrada como o  $T_{90}$ , a velocidade das correntes no local ( $v$ ).

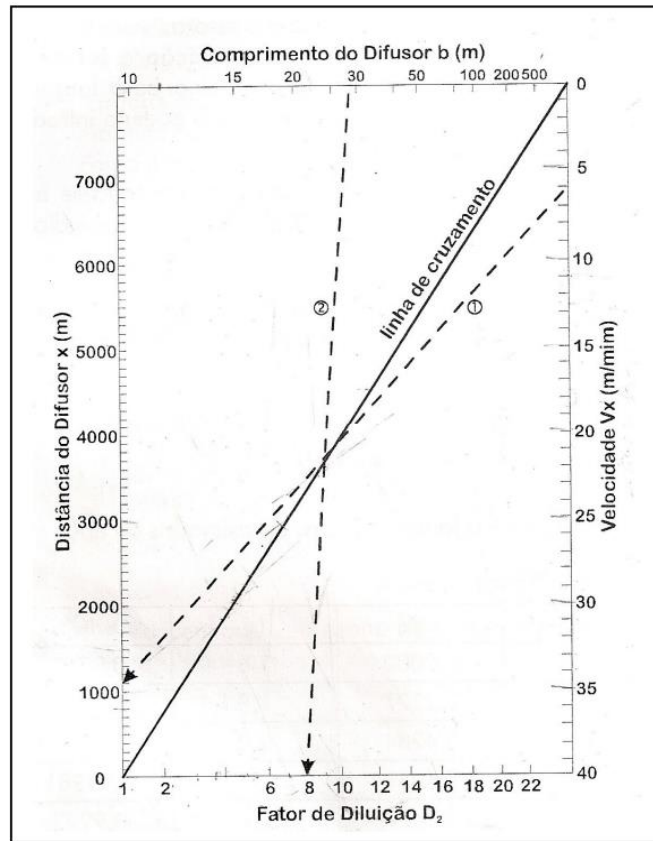
$$S_B = 10^{\frac{T}{T_{90}}} \quad (11)$$

Onde  $S_B$  equivale a diluição de coliformes ( $D_3$ ) e  $T$  corresponde ao tempo de deslocamento do campo do efluente até a área a proteger, ou seja, a razão entre o comprimento do emissário ( $L$ ) e a velocidade da corrente ( $v$ ).

A redução total é obtida por meio dos três fenômenos, a diluição inicial, a dispersão horizontal e o decaimento bacteriano, conforme a Equação 12. A análise da redução total depende da comparação com a redução necessária dos coliformes termotolerantes, a qual é determinada por meio da razão entre a densidade de coliformes fecais ( $C$ ) e o padrão satisfatório de balneabilidade ( $C_0$ ), sendo que a redução total ( $R_t$ ) obtida deve ser maior ou igual que a redução necessária ( $R_n$ ) de coliformes termotolerantes.

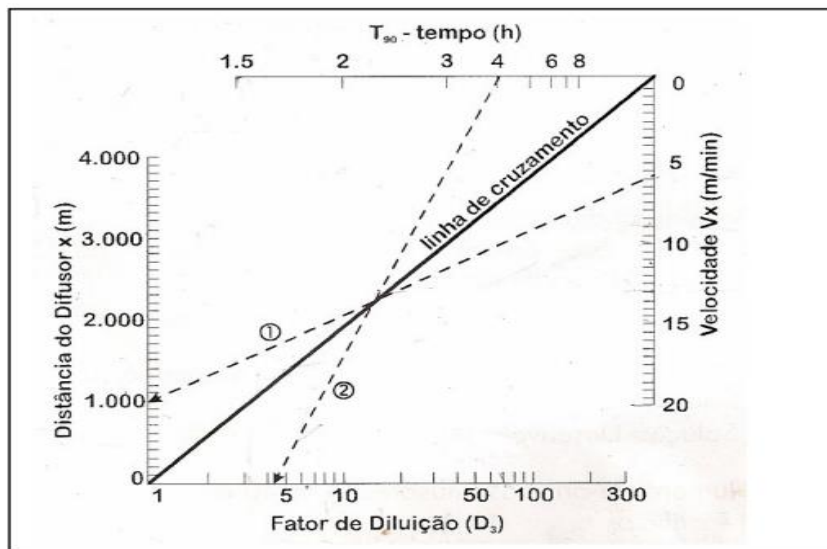
$$R_T = D_1 \times D_2 \times D_3 \quad (12)$$

Figura 17 - Determinação da dispersão horizontal ( $D_2$ )



Fonte: METCALF & EDDY, 2003.

Figura 18 - Decaimento bacteriano



Fonte: METCALF & EDDY, 2003.

### 3.8 TIPO DE TRATAMENTO DO EFLUENTE E ESTIMATIVA DE CUSTOS MATERIAIS

Os processos de tratamento de esgoto são classificados por níveis preliminar, primário, secundário e terciário. O objeto de interesse desta pesquisa é o tratamento dos efluentes com o sistema preliminar, usado principalmente para a remoção de sólidos grosseiros e areia, e o primário (decantação convencional), utilizado para a remoção de sólidos suspensos sedimentáveis e sólidos flutuantes (VON SPERLING, 2005; TONETTI *et al.*, 2018). Estes processos apresentam um baixo risco à saúde humana no lançamento de efluentes em emissários eficazes, considerando a vazão de projeto não excedida (WHO, 2003).

Além disso, do ponto de vista econômico dessa tecnologia alternativa, a estimativa de custos direta dos materiais limitaram-se, inicialmente, na determinação do tipo de material do tubo e de difusor, além do preço catalogado no mercado nacional e internacional. Para a determinação do tubo, optou-se pelo fabricado em polietileno de alta densidade (PEAD), boa flexibilidade (adapta com facilidade no leito do rio), peso leve (baixa densidade, aproximadamente, 96% da densidade da água doce), sem necessidade de revestimento ou proteção contra a corrosão, ótima ductilidade (alta capacidade de absorver tensões), além de dispensar a necessidade de juntas mecânicas na instalação (FORTIS, 2005).

As válvulas de orifício variável (*duckbill*) foram a escolha para a implantação dos emissários em diferentes locais (Macapá e Santana), visto que apresentam vantagens como a prevenção da entrada da cunha salina (quando existentes) em estuários e áreas costeiras, de sedimentos, sobretudo quando considera o alto volume de sedimentos transportados pelo Rio Amazonas, e de organismos vivos do bioma aquático no interior da tubulação (ARAÚJO *et al.*, 2022). Além disso, essas válvulas apresentam vantagens hidráulicas ao realizar uma eficiente mistura do efluente com o corpo d'água, quando comparados com as válvulas de orifício fixo (DUER, 2000; DUER, 2002; LEE *et al.*, 2002).

O custo de implantação do tratamento primário convencional foi estimado no presente estudo em 97 - 182 R\$/hab (SANTOS, 2018). É importante a atualização monetária com um índice de correção aproximado de 1,40 no período de 01/2017 a 07/2023 com o Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) (BCB, 2023). Enquanto o custo de implantação médio do tratamento preliminar é estimado em 4

US\$/hab (VON SPERLING, 1996), aplicado a atualização monetária com um índice de correção aproximado de 5,36 no período de 01/1996 a 07/2023 pelo IPCA (BCB, 2023), acrescido da cotação do dólar em 4,89 reais no dia 10 de agosto de 2023.

Os preços unitários da tubulação em PEAD para as dimensões diamétricas de 180 mm, 630 mm, 710 mm e 900 mm correspondem, respectivamente, a R\$ 247,43/m, R\$ 3.067,92/m, R\$ 2.269,61/m e R\$ 4.857,43/m. Estes valores foram obtidos dos bancos de insumos do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) e Empresa de Obras Públicas do Estado do Rio de Janeiro (EMOP). O difusor “*duckbill*” com o diâmetro aproximado de 140mm (5 <sup>1/2</sup> in) apresentou um custo unitário de R\$ 5.506,97/und (FORTIS, 2005), considerando a atualização monetária com o IPCA no período entre 06/2004 e 07/2023 utilizando um índice de correção de 2,91 e a cotação do dólar em 4,89 reais no dia 10 de agosto de 2023. As cotações atuais referentes a tubulação e ao difusor foram solicitadas, mas sem retorno dos fabricantes até o presente momento. A análise dos custos diretos da tubulação PEAD e difusores “*duckbill*” dos emissários e do tipo de tratamento (preliminar e primário) pretende indicar o preço em R\$ por habitante da população máxima estimada de cada emissário acrescido do custo de implantação da EPC com tratamento preliminar e primário encontrado na literatura.

## 4 RESULTADOS

As cidades de Macapá e Santana, localizados no estuário do Rio Amazonas (Figuras 2 e 13), apresentam condições básicas e propícias para a implantação de estações de pré-condicionamento (EPC) associado a emissários subfluviais (Figura 1). Portanto, o presente estudo sugeriu uma alternativa de implantação de pelo menos quatro emissários subaquáticos de esgotos domésticos ao longo da costa de Macapá e Santana, incluindo localizações consideradas críticas do ponto de vista sanitário: o primeiro localizado em frente à cidade de Santana/AP e os demais distribuídos não homogeneamente ao longo da orla da cidade de Macapá/AP. As estimativas de pré-dimensionamento sugerem localidades diferenciadas por sítio de implantação, usando como critério o tipo de tratamento preliminar e primário.

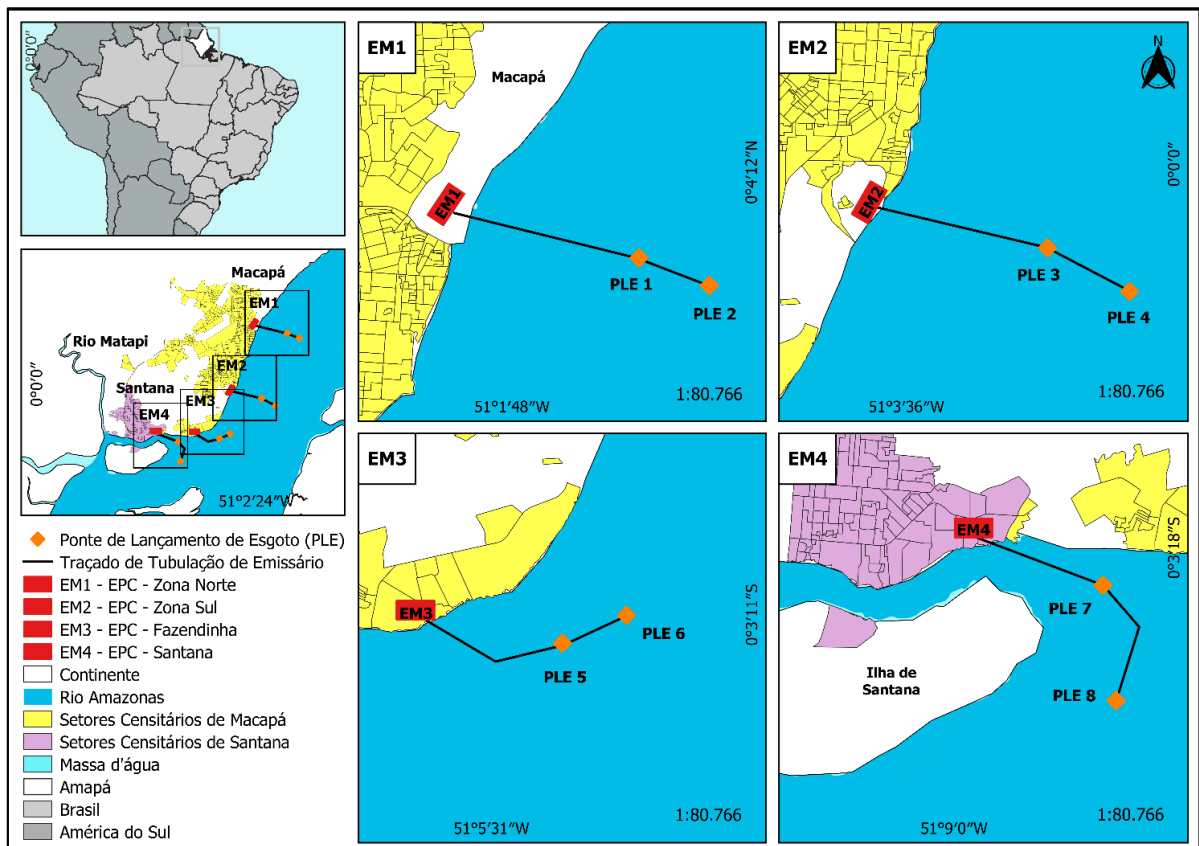
A Figura 19 apresenta as quatro localidades de implantação da estação de tratamento (EM1, EM2, EM3 e EM4), onde foram selecionados os sítios mais adequados para o despejo de efluentes domésticos (PLE). Estes últimos dividem-se pelo tipo de tratamento em números pares e ímpares: preliminar (PLE2, PLE4, PLE6 e PLE8) e primário (PLE1, PLE3, PLE5 e PLE7). Cada emissário abrange uma área subdividida geograficamente por setor censitário, que representa uma unidade territorial contínua estabelecida para fins de controle cadastral. Estas foram situadas em um único quadro urbano ou rural (IBGE, 2021), representadas pelas populações setorizadas e as vazões máximas de esgoto dimensionadas para 20 anos (Tabela 1).

Tabela 1 - População estimada e vazão de projeto (20 anos)

<b>Área populacional</b>	<b>População máxima estimada (em habitantes)</b>	<b>Vazão máxima de esgoto (em m<sup>3</sup>/s)</b>
Zona Norte, Macapá, AP	158.094	0,79
Zona Sul, Macapá, AP	296.939	1,48
Fazendinha, Macapá, AP	11.662	0,06
Santana, AP	118.388	0,59

Fonte: Autor (2023).

Figura 19 - Localização dos pontos de implantação de potenciais emissários e pontos de lançamento e dispersão dos efluentes



Fonte: Autor (2023).

A taxa de crescimento populacional estimada foi baseada em projeção geométrica para a cidade de Santana/AP, da ordem de 4,9%. Do mesmo modo, para as zonas de Macapá/AP a taxa de crescimento populacional estimada também foi geométrica, da ordem de 8,9%. Entretanto, houve limitação de estimativas devido a indisponibilidade de dados populacionais censitários para áreas individualizadas por bairro (IBGE, 2022b). Deste modo, o consumo de água per capita estimado ( $q$ ) foi de 300 L/hab./dia e o coeficiente de retorno no valor padrão de 0,8. Na Tabela 2 são apresentados os principais parâmetros empregados no pré-dimensionamento dos emissários com descrição, valores e referências utilizadas.

A batimetria proposta nos oito pontos de dispersão e lançamento do efluente doméstico e nas proximidades são distintas (variação de profundidade e geomorfologia de fundo), sendo quatro pontos direcionados ao tratamento preliminar, e outros quatro pontos considerando o tratamento primário (decantadores primários). A Tabela 3 apresenta a batimetria específica dos pontos considerados.

Tabela 2 - Parâmetros gerais de projeto

Parâmetro	Descrição	Valor	Fonte
$T_{90}$	Tempo de desaparecimento de 90% de uma população inicial de bactérias	4,5 h	ABREU, 2020
$C$	Densidade de coliformes fecais típica do esgoto bruto	$10^7$ NMP/100mL	GONÇALVES <i>et al.</i> , 2003
$C_o$	Exigência para balneabilidade satisfatória	$10^3$ NMP/100 mL	BRASIL, 2005
$Z_p$	Zona de balneabilidade ou proteção	300 m	FREITAS, 2011
$p$	Pressão nominal	1 MPa	DANIELETTO, 2007
$\sigma$	Tensão de projeto em 50 anos	10 MPa	ABPE, 2013
$d$	Diâmetro adotado do orifício	100 mm	WILKINSON; WAREHAM, 1996; WOOD <i>et al.</i> , 1993
$\rho_a$	Massa específica do corpo receptor	1024,5 kg/m <sup>3</sup>	ARAÚJO, 2016
$\rho_o$	Massa específica do efluente	997 kg/m <sup>3</sup>	FREITAS, 2011
$d_p$	Diferença entre a massa específica da água da superfície e do fundo	1 kg/m <sup>3</sup>	ARAÚJO, 2016
$v$	Velocidade média da coluna de água	0,5 m/s	ABREU, 2020

Fonte: Adaptado de autores.

Tabela 3 - Batimetria local dos pontos de lançamento de efluentes

Tipo de tratamento	Batimetria (profundidade média em m)			
	EM1	EM2	EM3	EM4
Preliminar	26	26	20	20
Primário	21	25	26	40

Fonte: Adaptado de ABREU *et al.*, 2020; BRASIL, 2021b.

A aplicação dos parâmetros definidos anteriormente resulta nas informações principais do dimensionamento hidráulico e ambiental dos emissários propostos EM1, EM2, EM3 e EM4 (Tabela 4, Figura 17 e Anexo A), na qual são definidos os seguintes parâmetros: comprimento total do emissário ( $L_{total}$ ), calculado a partir da relação entre a redução total ( $R_t$ ) e a redução necessária ( $R_n$ ) (Tabela 5); diâmetro externo da tubulação ( $D_{adot}$ ), quantidade de orifícios/difusores necessários para o lançamento do efluente ( $N_{dif}$ ), espaçamento entre os difusores ( $E_{dif}$ ) e o comprimento total dos difusores ( $L_{dif}$ ), sendo estes parâmetros aplicados para o tratamento preliminar e para o tratamento primário (convencional).

Tabela 4 - Resultados do dimensionamento hidráulico e ambiental

Parâmetros	Emissários subfluviais							
	EM1		EM2		EM3		EM4	
	PL	PR	PL	PR	PL	PR	PL	PR
$L_{total}$ (em km)	5,3	3,8	5,3	3,5	4,8	3,4	5,5	3,0
$D_{adot}$ (em mm)	710	710	900	900	180	180	630	630
$N_{dif}$ (em qtd)	42	42	67	67	3	3	33	33
$L_{dif}$ (em m)	214	173	344	330	8	11	128	256
$E_{dif}$ (em m)	5,2	4,2	5,2	5,0	4,0	5,2	4,0	8,0

PL – Tratamento preliminar  
PR – Tratamento primário

Fonte: Autor (2023).

Tabela 5 - Redução total e necessária obtida dos emissários

Emissários	Tipo de tratamento	$R_t$	$R_n$
EM1	Preliminar	12.674	10.000
	Primário	6.301	6.000
EM2	Preliminar	13.870	10.000
	Primário	6.426	6.000
EM3	Preliminar	11.974	10.000
	Primário	6.747	6.000
EM4	Preliminar	13.127	10.000
	Primário	6.512	6.000

Fonte: Autor (2023).

A dimensão econômica referente aos custos marginais estimados de tratamento de efluentes domésticos/habitante, especialmente tubos e difusores, tanto para a EPC preliminar quanto para a EPC primária (tanque de decantação primário), podem ser resumidos como mostrado na Tabela 6.

Tabela 6 - Custos da EPC por tipo de tratamento e dos materiais (tubo e difusor)

Emissário	EPC preliminar		EPC primária	
	C.I (R\$/hab)	C.D.M (R\$/hab)	C.I (R\$/hab)	C.D.M (R\$/hab)
EM1	105	78	195	57
EM2	105	88	195	59
EM3	105	104	195	74
EM4	105	145	195	80

C.I – Custo de implantação da EPC (estimado)  
C.D.M – Custo direto de material (estimado)

Fonte: Autor (2023).

Os cálculos foram desenvolvidos no editor de planilhas Excel, os quais estão detalhados no Apêndice A. A estimativa de custos direta de materiais constam no Apêndice B. A batimetria da área para os comprimentos de cada emissário proposto foi determinada com o auxílio do *software* Navionics (NAVIONICS, 2023), além das referências já mencionadas (ver Anexo A).

## 5 DISCUSSÃO

Em cidades costeiras os emissários submarinos/subfluviais, utilizados para a disposição final de esgotos domésticos e industriais, têm se mostrado como uma alternativa eficiente e adequada para esta finalidade. E podem ser aplicados de forma sustentável em países em desenvolvimento, em especial na Amazônia/Brasil. Experiências exitosas estão sendo aplicadas na Região Norte do Brasil, como Belém-PA, Manaus-AM, Boa Vista-RR (GONÇALVES; SOUZA, 1997).

Todavia, apesar de sua potencialidade e relevância técnica, ambiental e econômica, a utilização de ferramentas que permitam investigar eficientemente a capacidade de assimilação de esgotos domésticos em corpos d'água na Amazônia são extremamente escassas (ABREU *et al.*, 2020; CUNHA *et al.*, 2012). Esse fato torna-se mais evidente quando inexistem valores experimentalmente definidos para os projetos de concepção de estações de tratamento de esgotos, principalmente estudos de campo que poderiam gerar mais segurança e confiabilidade à sua implantação e operação (YANES, 2017; GRACE, 1978).

Do ponto de vista técnico um segundo aspecto é a baixa eficiência de sistemas de tratamento de efluentes das cidades brasileiras, em especial na região amazônica (IBGE, 2017; CUNHA *et al.*, 2012) onde a infraestrutura sanitária é mínima ou inexistente para disposição final de esgotos, sendo estes os casos de Macapá e Santana (CUNHA *et al.*, 2004, 2005; MPB, 2016; PINHEIRO *et al.*, 2008; VIEGAS *et al.*, 2021).

Num horizonte temporal de 20 anos em projetos de saneamento básico, as taxas de crescimento populacionais geométricas nas cidades de Macapá e Santana alertam para a necessidade de ampliação e consolidação de sistemas de esgotamento sanitário mais adequados, sendo gerado uma vazão máxima de esgoto doméstico estimada em, aproximadamente, 3 m<sup>3</sup>/s nas duas cidades (Tabela 1). Isto é, manter a relação direta entre a ampliação da cobertura por serviços de saneamento básico e a melhoria dos indicadores de saúde pública (HELLER, 1997; VIEGAS *et al.*, 2021; ARAÚJO *et al.*, 2022). Por exemplo, o comprimento total dos quatro emissários apresentou diferenças significativas (EM1, EM2, EM3 e EM4) (Figura 17 e Anexo A), quando analisado especificamente o tipo de tratamento adotado na EPC. O tratamento preliminar não apresenta condição de redução dos coliformes termotolerantes, enquanto o tratamento primário, considerando decantadores

primários convencionais, remove em média 40% dos coliformes antes da destinação final dos efluentes (VON SPERLING, 1996; JORDÃO; PESSOA, 2005).

Sob a perspectiva ambiental, o  $L_{total}$ ,  $N_{dif}$ , e  $L_{dif}$  do tratamento preliminar e primário atendeu a legislação e aos critérios do método RSB, visto que a redução total de coliformes termotolerantes totais obtida nos oito pontos de lançamento dos efluentes superaram a redução legal necessária, a qual equivale a 10.000 para o tratamento preliminar e 6.000 para o primário (BRASIL, 2005; ROBERTS *et al.*, 1989a; 1989b; 1989c). Além disso, ao considerar o  $T_{90}$  de 4,5h (ABREU, 2020), o valor obtido foi superior aos dos litorais brasileiros, como em Fortaleza (1,3h), Maceió (1,35h) e Rio de Janeiro (1h). Isso pode ser explicado pelas variações de temperatura, salinidade e radiação solar (LUDWIG, 1988; FEITOSA; ROSMAN, 2008). Nesse cenário, há um acréscimo considerável do tempo de eliminação da população de coliformes remanescentes após a diluição inicial e dispersão horizontal (SOUZA, 2007; FEITOSA, 2017), o que influencia diretamente na estimativa do comprimento do emissário. Os motivos são porque a zona de proteção legal (Figura 1) deve preservar as condições de balneabilidade do local na faixa mínima de 300 m a partir da orla (FREITAS, 2011) (Tabelas 4 e 5).

Os resultados do  $L_{total}$  indicam uma redução média de 1,8 km do tratamento preliminar para o efluente primário (Tabela 4), sendo este um aspecto técnico e econômico importante para a tomada de decisão na implantação do emissário. O comprimento mais notório apresentado foi o EM4 com 5,5 km (tratamento preliminar), porém, dentre os emissários propostos, foi o que apresentou a maior redução do  $L_{total}$ , cerca de 2,5 km considerando o tratamento primário e as maiores profundidades alcançadas na região (Tabela 3). A redução observada depende, principalmente, do tipo de tratamento adotado, mas também pode ser explicado devido a diferenças topobatimétricas, visto que profundidades maiores favorecem a diluição inicial da mistura ao corpo d'água receptor, além de reduzir a velocidade da coluna d'água no leito do rio (ABREU, 2020; FREITAS, 2011).

O diâmetro dos emissários depende principalmente da população máxima estimada e da vazão de esgoto doméstico. Assim, os resultados mostram que vazões elevadas geradas por um contingente populacional proporcionalmente elevado (densidade demográfica maior), como o EM2 que abrange uma área demográfica superior aos demais (Zona Sul de Macapá) e apresentou o  $D_{adot}$  dimensionado em 900mm (Tabela 4), necessitam de diâmetros de tubulações também maiores.

Conseqüentemente, a quantidade de orifícios ( $N_{dif}$ ) dos emissários apresenta uma relação diretamente proporcional com o diâmetro do emissário e, por consequência, proporcional à vazão máxima de esgoto doméstico, além de proporcionar uma distribuição mais uniforme do efluente doméstico e auxiliar na formação e dispersão da pluma de esgoto (CASCAES, 1991; FORTIS, 2005; FREITAS, 2011).

O espaçamento entre os orifícios ( $E_{dif}$ ) depende exclusivamente da altura da coluna da água no ponto final de dispersão e lançamento do efluente. Ou seja, das cotas batimétricas do difusor. Assim, profundidades elevadas tendem a aumentar o espaçamento entre os orifícios (LISETH, 1976), conforme evidenciado no EM4 com 8m de espaçamento, sendo o Canal de Santana uma região com as maiores profundidades na Zona Costeira Estuarina do Amapá e amplamente utilizado para a navegação (ABREU, 2020; SILVA JUNIOR, 2020). Além disso, o comprimento total dos difusores ( $L_{dif}$ ) é resultado direto do espaçamento e da quantidade de orifícios e apresentam fundamental importância na diluição inicial, conforme evidenciado no EM2 que apresentou os maiores  $L_{dif}$  com 344 m e 330 m para o tratamento primário e preliminar, respectivamente (Tabela 4). Isso porque, uma vez que ampliam a área de dispersão da pluma de esgoto, diminuem a concentração de coliformes termotolerantes por área de água fluvial (METCALF & EDDY, 2003).

As profundidades da coluna d'água nos pontos PLE1, PLE2, PLE3 e PLE4 são compatíveis com as alternativas de dispersão/diluição de esgotos domésticos (Figura 17 e Anexo A), visto que tanto para o tratamento preliminar como para o primário mantiveram uma redução gradual da profundidade desejada, sem variações abruptas, o que auxilia no lançamento de esgoto tratado por gravidade (TSUTIYA; ALEM SOBRINHO, 2011). É válido ressaltar que os pontos de lançamentos, referentes ao tratamento preliminar, indicam a necessidade de sinalização da estrutura para manter segura a navegação e outras atividades econômicas (hidrovia, balneabilidade), pois adentraram em áreas reconhecidas como de fundeio (PEREIRA *et al.*, 2014; CUNHA *et al.*, 2021; ARAÚJO *et al.* 2022).

A dispersão e o lançamento de efluentes nos pontos PLE5 e PLE6 apresentaram uma profundidade estimada com boa redução linear vertical (Figura 17 e Anexo A). Porém, o traçado da tubulação adaptado ao ponto de implantação, possivelmente prejudicaria o lançamento dos efluentes, cuja perda de carga seria considerável ao longo da tubulação. Além disso, a avaliação de traçados alternativos ao ponto EM3 indicaram problemas no assentamento da tubulação ao observar a

geomorfologia de fundo com variações batimétricas significativas (CHAO; MOTTA PACHECO, 1979; GONÇALVES; SOUZA, 1997), além de já terem indicado que estes referidos pontos de lançamento adentrariam em áreas de fundeio portuário (PEREIRA *et al.*, 2014).

O emissário de Santana/AP (EM4) apresentou disposição de assentamento satisfatória em todo o traçado, desde o ponto de dispersão no tratamento primário (PLE7) e, em parte, até o ponto de tratamento preliminar (PLE8), sendo neste último observadas as maiores variações de profundidade (até 63 m) (Figura 17 e Anexo A). Neste caso, as dificuldades ou inviabilidade de implantação de emissários nessa zona específica seriam justificadas pela intensa circulação de embarcações de pequeno, médio e grande portes (até 40 mil toneladas) na zona portuária de Santana/AP, que movimenta a navegação comercial na Bacia Amazônica (RAS, 2012; PEREIRA, 2013). Além disso, os traçados alternativos de emissários não seriam viáveis devido à estreita largura média do canal de Santana (650 m) onde já existe certa dificuldade de manobrabilidade e fundeio de navios (PEREIRA *et al.*, 2014). Por outro lado, este local é próximo da foz do rio Matapi com elevadas profundidades (acima de 40 m), apesar de ser favorável à dispersão de poluentes (ABREU, 2020), podendo elevar os custos de implantação e operação de emissários subaquáticos.

Com relação à dimensão econômica do pré-dimensionamento dos emissários, há indicativos de decréscimo de R\$ 90/hab no tratamento preliminar em relação ao primário. Assim, os custos marginais diretos de material para tratamento primário mostram uma redução de custo médio da ordem de R\$ 36/hab em relação ao preliminar (Tabela 6). Esse critério valida uma diferença significativa de comprimento da tubulação em ambos os tipos de tratamento. Por exemplo, os custos de implantação das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) dependem do processo e grau de tratamento adotado, seguido dos aspectos geotécnicos e topográficos (SOUZA, 2007).

Para sistemas de lodos ativados (LA) convencionais, o custo de implantação varia entre R\$ 407-508/hab, enquanto para sistemas de lagoas facultativas (como é o caso da LEB/ETE Macapá), o custo de implantação varia entre R\$ 170-271/hab, considerando a atualização monetária descrita na metodologia para os sistemas de tratamento preliminar e primário (SANTOS, 2018).

A comparação do custo de implantação e material dos emissários propostos, com o custo médio de lagoas facultativas e/ou lodos ativados, indicam que os

emissários seriam uma possibilidade viável economicamente, apesar desta última demandar maiores restrições e limitações locais, como o custo dos equipamentos, mão de obra especializada e demais materiais pertinentes à construção e manutenção de um emissário subfluvial (FORTIS, 2005; SOUZA, 2007; ROBERTS, 2016; GRACE, 1978).

Quando se avalia a implantação de emissários, como no presente caso, a análise integrada entre as dimensões técnica, ambiental e econômica, permite afirmar que ocorrem as seguintes vantagens em relação a outras alternativas tecnológicas com eficiência similar: 1) o ponto de implantação EM1 (Zona Norte, Macapá/AP) e EM2 (Zona Sul, Macapá/AP) apresentaram resultados técnicos e ambientais promissores e competitivos para a EPC em relação a outros tipos convencionais de tratamento de esgoto. Mas há ressalvas quanto ao ponto de lançamento no tratamento preliminar. Assim, a dimensão econômica dos emissários sugere viabilidade quando comparada com alternativas tecnológicas similares no tratamento de efluentes; 2) o ponto de implantação EM3 (Fazendinha, Macapá/AP), apesar de economicamente promissor, apresentou variação batimétrica irregular nos dois tipos de tratamento, e seria necessário adaptar o traçado de maneira hidraulicamente desfavorável, o que prejudicaria o lançamento dos efluentes e a redução precisa dos coliformes termotolerantes e as vantagens locais de autodepuração do corpo hídrico; 3) o ponto de implantação EM4 (Santana/AP) apresentou bons resultados técnicos e ambientais para o tratamento primário, como uma ótima profundidade no Canal de Santana que favorece a dispersão e redução dos coliformes termotolerantes totais na área e uma diferença de 25 R\$/hab na dimensão econômica para o tratamento preliminar. Todavia, haveria dificuldades na sua implantação por ser uma área de intensa navegação comercial e fundeio. Por fim, o EM4, com tratamento preliminar, apesar de promissor economicamente, a extensão longitudinal além do Canal de Santana inviabilizaria a implantação do emissário, visto que o comprimento total necessário para a redução satisfatória dos coliformes seria de 2,5 km (muito longo), superior ao tratamento primário.

Os impactos ambientais negativos dos emissários subfluviais devem ser também considerados na implantação e operação, pois causam aumento da turbidez e alteram as características físico-químicas das águas na zona de mistura. Geram resíduos sólidos resultantes do processo de pré-tratamento e alteração na granulometria dos sedimentos (ABESSA *et al.*, 2012). Portanto, torna-se

imprescindível o licenciamento ambiental com a elaboração de estudos *in situ* e relatórios técnicos detalhados da qualidade da água e biota aquática, pois se enquadram em impactos ambientais de grandes obras civis (TSUTIYA, 2006).

E, após a implantação dos potenciais emissários, seria necessário o monitoramento periódico na área de implantação, visto que o emissário deve atender constantemente aos padrões ambientais estabelecidos na Resolução 430/2011 do CONAMA (LAMPARELLI, 2003). Além disso, a participação das comunidades direta e indiretamente impactadas pelo projeto é muito importante na tomada de decisão para avaliar os benefícios/problemas decorrentes do projeto, de modo a possibilitar soluções democraticamente efetivas e sustentáveis, garantindo participação efetiva no planejamento, implantação e até o monitoramento das atividades (FONSECA *et al.*, 2020; OKUWA *et al.*, 2019; CAMÕES, 2023).

Com base nas discussões acima, a dimensão econômica foi considerada satisfatória, sobretudo se comparada com Sistemas de Tratamento de Esgoto convencionais (SES – LA e LEB), apesar do levantamento de custos materiais ter sido limitado pela ausência de informações e alguns dados básicos.

A dimensão técnica foi notavelmente favorável. Mas apenas referente ao dimensionamento dos emissários EM1 e EM2, cujo perfil batimétrico é mais regular, apresentando potencial para implantação de emissários, tanto no tratamento primário como no preliminar. Assim, EM1 e EM2 apresentam um traçado que favorece a hidráulica dos difusores. De modo contrário, EM3 apresentou variação significativa batimétrica e de traçado. Tal condição inviabilizaria a implantação deste último. Mas no caso do EM4 os resultados foram satisfatórios tanto para o traçado quanto para a batimetria no tratamento primário. Todavia a implantação de EM3 e EM4 seria inviabilizada pela proximidade da zona portuária e hidrovia comercial do Rio Amazonas. Por exemplo, como já comentado na avaliação econômica, em relação ao tratamento preliminar, o aspecto irregular batimétrico e o comprimento do emissário seriam excessivos, ultrapassando a extensão lateral do Canal de Santana.

Apesar das limitações de informações disponíveis no Estado do Amapá, o presente estudo apresenta uma notável contribuição sobre um tema essencial para o desenvolvimento do setor de saneamento no estado do Amapá, o mais deficitário desses serviços no país. Nestes termos, sua aplicação incidiria também diretamente nos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), meta 6 (Água Potável e Saneamento).

Mas a escassez de estudos básicos sobre a dimensão do esgotamento sanitário do saneamento básico é tão grave no Estado do Amapá que tem sido motivo da devolução de recursos financeiros do Governo Federal (Programa de Aceleração do Crescimento - PAC II) entre 2008 a 2014). Além disso, tem sido relatado que os referidos recursos sequer foram utilizados por não haver um projeto básico para o setor (concepção do sistema de esgotamento sanitário de Macapá, por exemplo), em especial no que concerne a fase de estudos do corpo hídrico receptor e fase de concepção de projetos executivos. No caso, parece ter ocorrido uma completa falta de conhecimento sobre a quantificação da capacidade autodepurativa dos prováveis locais de disposição final de esgotos domésticos na orla de Macapá e Santana.

Um bom exemplo desta deficiência é a necessidade de classificação dos corpos d'água, ainda pendente desde a 1ª versão da Lei Estadual de Recursos Hídricos (0686/2002). A Lei Nº 0686, de 07/07/2002 dispõe sobre a Política de Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Estado do Amapá e dá outras providências. E o Decreto Nº 4509, de 29/12/2009, dispõe sobre a regulamentação do Título II da Lei 0686/2002 (regulamenta o CERH/AP).

## 6 CONCLUSÃO

As hipóteses da pesquisa foram confirmadas. Nestes casos, em virtude das condições da redução total de coliformes termotolerantes, os comprimentos dos emissários e configuração do difusor atenderem a redução necessária imposta pelo enquadramento legal, porém, ressalta-se a importância de estudos preliminares *in situ* para a validação de parâmetros mais precisos, como o  $T_{90}$ .

Além disso, constatou-se que o dimensionamento de emissários subfluviais depende fundamentalmente das condições locais, sobretudo do traçado e disposição do emissário no leito do rio. Ou seja, das configurações topobatimétricas da área de implantação, além do tipo de tratamento adotado impactar nas dimensões ambiental, técnica e econômica na tomada de decisão da gestão pública.

Sendo assim, a zona costeira da margem esquerda do rio Amazonas apresentou todas as condições hidrodinâmicas favoráveis para o tratamento e disposição final de esgotos sanitários. Porque apresenta elevada vazão e dinâmica de marés e batimétricas, as quais funcionam nos limites de profundidades ideais para a configuração dos difusores (ordem de 20m), os quais são favoráveis para a implantação de emissários subfluviais.

É possível concluir que a EPC preliminar diminuiria o custo de implantação do emissário, mas elevaria o custo material, sobretudo de tubos, quando comparada ao tratamento primário convencional. Além disso, a implantação de emissários subfluviais na zona costeira urbana de Macapá apresenta viabilidade em pelo menos três locais geográficos estratégicos ao longo das orlas urbanas de Macapá e Santana.

A dimensão ambiental dos emissários propostos nos dois tipos de tratamento mostrou-se também viável como alternativa. Porque atenderia a redução necessária de coliformes termotolerantes, garantindo, por exemplo, a balneabilidade e a segurança sanitária da zona de proteção – limite de segurança dos 300 m.

O pré-dimensionamento serve como alternativa simples que garante a sustentabilidade construtiva e operacional para o esgotamento sanitário em zonas costeiras ambientalmente sensíveis do Estado do Amapá. Portanto, sua vantagem seria a redução drástica dessas áreas já muito poluídas pelo esgoto doméstico urbano na atualidade e que provavelmente irá se agravar no futuro. Este fato torna também economicamente viável a proposta dos emissários além de manter os múltiplos usos das águas previstos pela dimensão ambiental.

Portanto, com algumas variações locacionais, os emissários subaquáticos apresentam viabilidade técnica, ambiental e econômica. São adequados às características autodepurativas do Rio Amazonas (maior vazão do planeta), apesar das restrições de profundidades mais rasas próximas na margem esquerda do rio. E, a despeito dessas características técnicas, ambientais e econômicas, os emissários subfluviais mostram-se também competitivos, e podem potencialmente ser considerados em futuros projetos de tratamento e disposição final de esgotos domésticos em Macapá e Santana.

O presente estudo apresenta, contudo, limitações. Ainda há demanda de mais refinamento dos parâmetros de dimensionamento (engenharia civil e sanitária), a fim de elevar a confiabilidade das informações disponíveis. Dentre os parâmetros necessários em projetos de concepção, *a posteriori*, a resolução espacial batimétrica/hidrodinâmica seria de interesse. Isto é, quanto maior a resolução batimétrica ao longo das tubulações ou ao redor dos difusores menores seriam os custos dos projetos. Neste caso, estudos experimentais de campo seriam fundamentais na melhoria da precisão das medidas, especialmente quanto ao tempo de redução da concentração em 90% da população de bactérias poluidoras ( $T_{90}$ ), assim como estudos específicos para a determinação da variação de massa específica do rio Amazonas (considerando a coluna d'água e o provável impacto dos sedimentos nessa variação). Este procedimento integraria e melhoraria o nível de informações entre os parâmetros técnicos, econômicos e ambientais. Além de cotações recentes e estudos atuais acerca dos custos de implantação de ETEs, e principalmente, acerca de emissários subfluviais (seja custos de implantação gerais e específicos, como os insumos e mão de obra).

## REFERÊNCIAS

- ABESSA, D.M.; RACHID, B.R.; MOSER, G.A.; OLIVEIRA, A.J.F. (2012). Efeitos ambientais da disposição oceânica de esgotos por meio de emissários submarinos: uma revisão. *O Mundo da Saúde* 36:643–661.
- ABPE. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE TUBOS POLIOLEFÍNICOS E SISTEMAS. Manual de boas práticas - Módulo 1. 2013. Disponível em: <[http://abpebrasil.com.br/cartilha/1\\_2.pdf](http://abpebrasil.com.br/cartilha/1_2.pdf)>. Acesso em: 10 ago. 2023.
- ABREU, C. H. M.; BARROS, M. L. C.; BRITO, D. C.; TEIXEIRA, M. R.; CUNHA, A. C. Hydrodynamic modeling and simulation of water residence time in the Estuary of the Lower Amazon River. *Water*, v. 12, p. 1/60-30, 2020.
- ABREU, Carlos Henrique Medeiros de. Modelagem e Simulação Numérica como Suporte ao Gerenciamento da Qualidade da Água e Concepção do Sistema de Esgotos Sanitários de Macapá e Santana. 2020. 123 f. Tese (Doutorado em Biodiversidade e Biotecnologia) - Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2020.
- AISSE, M. M. Sistemas econômicos de tratamento de esgotos sanitários. Ed. ABES (Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental), Rio de Janeiro, 192p., 2000.
- ALVES, Sarah Menezes. SIMULAÇÃO DE TRÁFEGO MARÍTIMO INCLUINDO JANELA DE MARÉ E EFEITO SQUAT NO CANAL DA BARRA NORTE DO RIO AMAZONAS. 2022. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro
- AMASSEDS, G.R. (1990), A multidisciplinary Amazon shelf sediment study, *EOS Transactions*, Vol. 71, pp. 1771–1777.
- ANA, Agência Nacional de Águas. Brasil, 2010. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb/HidroWeb.asp>>. Acesso em: 11 abr. 2023.
- ARAUJO, E. P.; ABREU, C. H. M.; CUNHA, H. F. A.; BRITO, A. U.; PEREIRA, N. N.; CUNHA, A. C. Vulnerability of biological resources to potential oil spills in the Lower Amazon River, Amapá, Brazil. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 29, p. 1-20, 2022.
- ARAUJO, E. P.; BRITO, A. U.; CUNHA, A. C.; CUNHA, H. F. A. Indicadores de abastecimento de água e doenças de transmissão hídrica em municípios da Amazônia Oriental. *ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL (ONLINE)*, v. 26, p. 1059-1068, 2021.
- ARAUJO, N. M. O. Estudo da influência do aporte de água doce dos rios Amazonas e Tocantins na circulação e estado termohalino do Atlântico com simulações do MOM4. Orientador: Clemente Augusto Souza Tanajura. 2016. 74 f. Monografia (Graduação em Oceanografia), Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Brasil, 2016. Disponível em: <[http://oceanografia.ufba.br/Monografia\\_Natalie\\_Melquiades.pdf](http://oceanografia.ufba.br/Monografia_Natalie_Melquiades.pdf)>. Acesso em: 31 jul. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9649: Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário. Rio de Janeiro - RJ, 1986. 7 p.

AVANZINI, C. Pipes and techniques for outfall construction: is there something new? In: International Conference Marine Waste Water Discharge – MWW. Genova, Italy, 2000.

BCB. Banco Central do Brasil. Calculadora do Cidadão. Correção de Valores. 2023. Disponível em: <<https://www3.bcb.gov.br/CALCIDADAOPUBLICO/exibirFormCorrecaoValores.do?met hod=exibirFormCorrecaoValores&aba=1>>. Acesso em: 15 ago. 2023.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) Nº 237, de 19 de Dezembro de 1997. Dispõe sobre licenciamento ambiental; competência da União, Estados e Municípios; listagem de atividades sujeitas ao licenciamento; Estudos Ambientais, Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental. Diário Oficial da União, Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF, 22/12/1997, Seção 1, páginas 30841-30843. Ministério do Meio Ambiente.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) Nº 274, de 29 de Novembro de 2000. Define condições e padrões de balneabilidade, de forma a assegurar as condições necessárias à recreação de contato primário. Diário Oficial da União, Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF, 25/01/2001, Seção 1, páginas 70-71. Ministério do Meio Ambiente. Brasília, DF, 2001.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) Nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa a Resolução do CONAMA Nº 357, de 17 de março de 2005. Diário Oficial da União, Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF, 16 de maio de 2011. Seção 1, p. 89-91.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) Nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências, revoga a Resolução do CONAMA 20 de 18 de junho de 1986. Diário Oficial da União, Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF, 18 de março de 2005. Seção 1, p. 58-63. Ministério do Meio Ambiente. Brasília, DF, 2005.

BRASIL. (1981). Ministério da Defesa. Marinha do Brasil (MB). Diretoria de Hidrografia e Navegação. Centro de Hidrografia da Marinha. Cartas de correntes do Rio Amazonas: da Barra Norte ao Porto de Santana. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-segnav-publicacoes/cartas-de-correntes-de-mare>>. Acesso em: 15 mar. 2023.

BRASIL. (2005). Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) Resolução Nº 357, de 17 de março de 2005. Diário Oficial da União, Brasília, DF. Seção 1, p. 58-63.

BRASIL. (2021b). Ministério da Defesa. Marinha do Brasil (MB). Diretoria de Hidrografia e Navegação. Centro de Hidrografia da Marinha. Cartas Náuticas (raster) nº 204 e 206. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-segnav/cartas-raster>>. Acesso em: 15 mar. 2023.

BRASIL. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Lei Federal n. 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis n. 6.766, de 19 de dezembro de 1979; 8.036, de 11 de maio de 1990; 8.666 de 21 de junho de 1993; 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei n. 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Brasília, DF, 2007. Disponível em: . Acesso em: 10 ago. 2023.

BRASIL. Lei Nº 7.661, de 16 de maio de 1988. Institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro e dá outras providências. Subchefia para assuntos jurídicos da Presidência da República. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br/ccivil>>. Acesso em: 5 ago. 2023.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR). Secretaria Nacional de Saneamento (SNS). Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos. 2021a. Disponível em: <[http://appsniis.mdr.gov.br/indicadores/web/agua\\_esgoto/mapa-esgoto/?cod=1600303](http://appsniis.mdr.gov.br/indicadores/web/agua_esgoto/mapa-esgoto/?cod=1600303)>. Acesso em: 15 mar. 2023.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução Nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa a Resolução do CONAMA Nº 357, de 17 de março de 2005. Diário Oficial da União, Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF, 16 de maio de 2011. Seção 1, p. 89-91.

BRASIL. Resolução nº 005, de 03 de dezembro de 1997. Aprova o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro II (PNGC II). Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (CIRM). Disponível em:<<http://www.institutopharos.org/legislacao/>>. Acesso em: 5 ago. 2023.

BRITO, D. C. Dinâmica do rio Amazonas: biogeoquímica da pluma de montante à foz. Tese (Doutorado em Biodiversidade Tropical) - Universidade Federal do Amapá. 2013.

CAMÕES, F. B. Participação da Comunidade no Processo de Tomada de Decisão para o Saneamento do Meio, Estudo de Caso: Bairro 3 de Fevereiro no Município da Cidade de Quelimane. *Research, Society and Development*, v. 12, n. 8, ISSN 2525-3409, 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v12i8.42705>.

CARVALHO, J.L.B. Modelagem e análise do lançamento de efluentes através de emissários submarinos. 2003. 173 f. Tese de doutoramento, Departamento de engenharia Oceânica, COOPE/UFRJ, 2003.

CASCAES, M. E. C. S. Emissários submarinos: metodologia para fixação do diâmetro, definição do difusor e avaliação de custos. Orientador: Mário Valente Neves. 1991. 166 f. Dissertação (Mestrado) – Mestrado em Hidráulica, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 1991. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/13307>>. Acesso em: 31 jul. 2023.

CASCAES, M. E. C. S. Emissários submarinos: metodologia para fixação do diâmetro, definição do difusor e avaliação de custos. Orientador: Mário Valente Neves. 1991. 166 f. Dissertação (Mestrado) – Mestrado em Hidráulica, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 1991. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/13307>>. Acesso em: 31 jul. 2023.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Emissários submarinos: projeto, avaliação de impacto ambiental e monitoramento. Editores: Cláudia Condé Lamparelli, Jayme Pinto Ortiz. São Paulo: SMA, 2006.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Relatório - Qualidade das praias litorâneas no estado de São Paulo-2010, 2011, 160p. Disponível em <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/praias/25-publicacoes/-relatorios>>. Acesso em: 25. ago. 2023.

CHAO, J. L.; MOTTA PACHECO, L. A. Disposição de esgotos por emissários submarinos, gerenciamento do controle de poluição e proteção da qualidade das águas costeiras. Revista DAEE (122), p. 98-124, 1979.

CHAVES, F. S. C. Dimensionamento hidráulico-estrutural de emissários submarinos: estudo de caso. Orientador: Francisco de Almeida Taveira Pinto. 2014. 425 f. Dissertação (Mestrado) – Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2013. Disponível em: <[https://sigarra.up.pt/fep/pt/pub\\_geral.show\\_file?pi\\_doc\\_id=25686](https://sigarra.up.pt/fep/pt/pub_geral.show_file?pi_doc_id=25686)>. Acesso em: 31 jul. 2023.

COELHO, F. M. "Os desafios do esgotamento sanitário na Região Hidrográfica Guandu". GUANDU Conhecimento, Revista temática do Comitê Guandu, edição quadrimestral, Ano I, No. 2, pp. 17-20, 2013. Disponível em: <<http://www.comiteguandu.org.br/conteudo/RevistaGuanduConhecimento2.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2023.

CUNHA, A. C. *et al.* Challenges and Solutions for Hydrodynamic and Water Quality in Rivers in the Amazon Basin. In: SCHULZ, H. E.; SIMÕES, A. L. A.; LOBOSCO, R. J. (Org.). Hydrodynamics – Natural Water Bodies. Rijeka/Croácia: InTech, 2012. p. 67 – 88.

CUNHA, A. C.; ABREU, C. H. M.; CRIZANTO, J. L. P.; CUNHA, H. F. A.; BRITO, A. U.; PEREIRA, N. N. Modeling pollutant dispersion scenarios in high vessel-traffic areas of the Lower Amazon River. MARINE POLLUTION BULLETIN, v. 168, p. 112404, 2021.

CUNHA, A. C.; CUNHA, H. F. A.; BRASIL JÚNIOR, A. C. P.; ANTONIO, D. L.; SCHULZ, H. E. Qualidade microbiológica da água em rios de áreas urbanas e periurbanas no baixo Amazonas: o caso do Amapá. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 9, p. 322-328, 2004.

CUNHA, A. C.; CUNHA, H. F. A.; TAKIYAMA, L. R.; SILVEIRA, O. F.; Silva, M. S. da; PANTOJA, S.; NAZARE, A. S.; Siqueira. Approaches to Evaluation of Self-Purification in Estuarine Rivers of Southeast of Amapá State - Brazil. PESQUISAS EM GEOCIÊNCIAS (ONLINE), Rio Grande do Sul - RS, v. 28, n.1, p. 487, 2001.

CUNHA, A. C.; NAZARE, A. S.; PANTOJA, S.; CUNHA, H. F. A.; SOUZA, J. Monitoramento de Águas Superficiais em Rios Estuarinos do Estado do Amapá sob Poluição Microbiológica. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Série Ciências Naturais, Belém - PA, v. 1, n.1, p. 191-199, 2005.

CUNHA, E. D. S.; CASTELO-BRANCO, R.; SILVA, L.; SILVA, N. B.; AZEVEDO, J.; VASCONCELOS, V.; Faustino, S. M. M.; CUNHA, A. C. First Detection of Microcystin-LR in the Amazon River at the Drinking Water Treatment Plant of the Municipality of Macapá, Brazil. *Toxins*, v. 11, p. 669-681, 2019.

DALE, J.R. Subsea pipeline inspections. In: International Conference Marine Waste Water Discharge – MWWD. Istanbul, Turkey. 2002.

DANIELETTO, José Roberto B. Manual de Tubulações de Polietileno e Polpropileno: Características, dimensionamento e instalação. São Paulo: Ed. Linha Aberta, 2007.

DIPRA – DUCTILE IRON PIPE RESEARCH ASSOCIATION. Ductile iron pipe subaqueous crossing. 2001.

DUER, M.J. New developments in “duckbill” check valves and elastomeric components for marine outfalls. International Conference on Marine Waste Water Discharges – MWWD 2002, Istanbul, Turkey, sept. 16 – 20, 2002.

DUER, M.J. Use of elastomeric duckbill valves for long-term hydraulic and dilution efficiency of marine diffusers. In: International Conference Marine Waste Water Discharge – MWWD. Genova, Italy. 2000.

DUNNE, T., MERTES, L.A.K., MEADE, R.H., RICHEY, J.E. and FORSBERG, B.R. (1998), Exchanges of sediment between the flood plain and channel of the Amazon River in Brazil, *Bulletin of the Geological Society of America*, Vol. 110, No. 4, pp. 450–467.

ETEMAR. Portfólio: Conduitas Submarinas. Disponível em: <<https://www.etermar.pt/pt/portfolio/conduitas-submarinas>>. Acesso em: 7 ago. 2023.

FELIX NETO, J. C.; SOUZA, L. J.; ABREU, C. H. M.; BARBARA, V. F.; CUNHA, H. F. A.; Dias, M. T.; CUNHA, A. C.; CUNHA, A. C. Impactos hidroclimáticos de curto prazo no padrão hidrodinâmico de rio estuarino amazônico - Amapá/Brasil. *Revista Ibero-americana de Ciências Ambientais*, v. 12, p. 1-19, 2021

FEITOSA R.C; ROSMAN P.C.C. Emissários Submarinos de Esgotos: Aspectos de Qualidade de Água e Modelagem Computacional. In: Silva RCV, organizador. *Métodos Numéricos em Recursos Hídricos VIII*. Porto Alegre: ABRH; 2008. p. 1-170.

FEITOSA, Renato Castiglia. Emissários submarinos de esgotos como alternativa à minimização de riscos à saúde humana e ambiental. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 22, p. 2037-2048, 2017.

FLORES, C. A. R.; CUNHA, H. F. A.; CUNHA, A. C.; CUNHA, A. C. Hydrometeorological characterization and estimation of landfill leachate generation in the Eastern Amazon/Brazil. *PeerJ*, v. 4, p. 1-20, 2023.

FGS. Fabricante de tubos e conexões de PEAD. Linhas: tubos de polietileno – PEAD. 2020. Disponível em: <<https://fgsbrasil.com.br/wp-content/uploads/2020/04/CAT%C3%81LOGO-TUBO-PEAD-ESGOTO.pdf>>. Acesso em: 8 ago. 2023.

FREITAS, S. *et al.* Diretrizes para projeto de sistema de disposição oceânica de esgotos para comunidade de pequeno porte. In: Coletânea de Saneamento Ambiental - Série Temática: Tecnologias Ambientais, ROSSO, T. C. A. *et al.* (Org.), Rio de Janeiro: COAMB/FEN/UERJ, v. 2, 2011. ISBN: 978-85-64386-02-0.

FONSECA, C.; SANCHES FERNANDES, L. F.; BENTES, I. (2020). Community participation in the decision-making process for the provision of basic sanitation services in rural areas of Mozambique. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 522, No. 1, p. 012127). IOP Publishing.10.1088/1755-1315/522/1/012127.

FORTIS, R. M. Modelagem computacional da dispersão da pluma dos emissários submarinos do TEBAR – PETROBRÁS. Orientador: Jayme Pinto Ortiz. 2005. 201 f. Dissertação (Mestrado) – Mestrado em Engenharia, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Civil, São Paulo, Brasil, 2005. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-19052006-154822/pt-br.php>>. Acesso em: 31 jul. 2023.

FUNASA, Fundação Nacional de Saúde. Manual de saneamento. Brasília, 4ª edição, 2015.

FUNASA. Manual de Saneamento. 5a ed., Brasília, Ed. Fundação Nacional de Saúde (FUNASA), Ministério da Saúde, Brasil, 2019. Disponível em: <[http://www.funasa.gov.br/documents/20182/38564/Mnl\\_Saneamento.pdf/ae1d4eb7-afe8-4e70-ae9a-0d2ae24b59ea](http://www.funasa.gov.br/documents/20182/38564/Mnl_Saneamento.pdf/ae1d4eb7-afe8-4e70-ae9a-0d2ae24b59ea)>. Acesso em: 10 ago. 2023.

GALLO, M. N.; VINZON, S. B. Estudo numérico do escoamento em planícies de marés do canal Norte (estuário do rio Amazonas). Revista ibero-americana del Agua, [S.l.], v. 2, p. 38-50, 2015.

GALLO, M. N.; VINZON, S. B. Generation of overtides and compound tides in Amazon estuary. Ocean Dynamics, [S.l.], v. 55 (5-6), p. 441-448, 2005.

GONÇALVES, R. F.; JORDÃO, E. P.; SOBRINHO, P. A. Introdução - Eficiências das tecnologias de tratamento na remoção de patógenos. In: GONÇALVES, R. F. (Org.). Desinfecção de efluentes sanitários. Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003, p. 1-26. ISBN 85-86552-72-0.

GONÇALVES; F. B.; SOUZA, A. P. de. Disposição Oceânica de Esgotos Sanitários: História, Teoria e Prática. 1ª ed., Ed. ABES (Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental), Rio de Janeiro, RJ, 348p., 1997.

GRACE, R. A. Marine outfall systems: planning, design, and construction. Department of Civil Engineering. University of Hawaii at Manoa, Honolulu, Hawaii. Prentice Hall. 1978.

HELLER L. Saneamento e saúde. Brasília: OPAS/OMS; 1997.

HIB – Hibbard Inshore Brasil. Inspeção ROV: emissários submarinos. Disponível em: <<https://segurancadebarragens.com/inspecao-rov-emissarios-submarinos/>>. Acesso em: 7 ago. 2023.

IBGE. 2017. Pesquisa nacional de saneamento básico. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/30/84366>>. Acesso em: 6 ago. 2023.

IBGE. 2021. Malha de setores censitários. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/26565-malhas-de-setores-censitarios-divisoes-intramunicipais.html>>. Acesso em: 10 ago. 2023.

IBGE. 2022a. Panorama das cidades do Estado do Amapá. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ap/panorama>>. Acesso em: 1 ago. 2023.

IBGE. 2022b. Panorama das cidades do Amapá (taxa de crescimento geométrico). Disponível em: <<https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/mapas.html>>. Acesso em: 10 ago. 2023.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. Tratamento de Esgotos Domésticos. 4.ed. Belo Horizonte: Segrac Editora, 2005.

JORDÃO, E.P.; LEITÃO, J.R. Sewage and solids disposal: are processes such as ocean disposal proper? The case of Rio de Janeiro, Brasil. *Wat.Sci.Tech*; 1990.

KOMEX. Britannia outfall replacement: comparison of alternative sites. Vancouver, Canada. 2002.

LAMPARELLI, C. C.; PINTO, K. C.; CAMOLEZ, A. C.; FORTIS, R. M.; PEREIRA, C. B. P.; MOURA, D. O. (2007). Relatório de Monitoramento de Emissários Submarinos. CETESB. Série Relatórios / Secretaria de Estado do Meio Ambiente. ISSN 0103-410310.

LAMPARELLI, C.C. Emissários submarinos: Desafios para o licenciamento e monitoramento ambiental. In: Emissários submarinos: projeto, avaliação de impacto ambiental e monitoramento. Editado por Lamparelli, C.C.; Ortiz, J.P. ed 1, 12-23. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo ORTIZ, J.P. São Paulo: SMA, 2006. 240 p.

LAMPARELLI, Cláudia Condé. Emissários submarinos: Projeto, Avaliação de Impacto Ambiental e Monitoramento, CETESB, 2003.

LEE, J.H.W.; KUANG, C.P.; CHANG, H.C. Experiments of a duckbill valve (dbv) jet in coflow. In: 15° ASCE Engineering Mechanics Conference. Columbia University, New York, NY. 2002.

LESS, D. F. S.; WARD, N. D.; RICKEY, J. E.; CUNHA, A. C. Seasonal and Daily Variation of Hydrodynamic Conditions in the Amazon River Mouth: Influence of Discharge and Tide on Flow Velocity. *Journal of Coastal Research*, v. 37, p. 1181-1192, 2021.

LINGURI, M. LISSONI, M. New technologies for site production of spiral steel pipe with corrosion and concrete weight coatings for medium - large diameter outfalls. In: International Conference Marine Waste Water Discharge – MWWD, Genova, Italy. 2000.

LISETH, P. Wastewater disposal by submerged manifolds. *Journal of Hydraulic Engineering*, v. 102, n. 1, p. 1-14, 1976.

LUDWIG, RUSSELL G. Environmental Impact Assessment – Siting and design of submarine outfalls. OMS. (1988).

MARCELLINO, E.B. Curso de Emissário Submarino de Esgotos Sanitários. Curso ministrado na Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP - 63 p., julho de 2008.

MATSUSHITA, A. Tecnologia diversificada em tubulação de concreto, aço e plástico. *Revista O Empreiteiro* (136), p. 44-47. 1979.

METCALF & EDDY, Inc. *Wastewater Engineering: collection, treatment, disposal*. United States of America, Ed. McGraw-Hill Book Company Inc., 1972.

METCALF & EDDY, Inc. *Water Reuse: issues, technologies, and applications*. AECOM, Takashi Asano *et al.*, 1st ed., United States of America, Ed. The McGraw-Hill Companies Inc., 2007.

METCALF & EDDY, Inc. *Wastewater engineering: treatment and reuse*. 4. ed. New York: McGraw-Hill, 2003. 1819 p.

MPB ENGENHARIA, 2016. Plano Municipal de Saneamento Básico de Macapá: Diagnóstico da Prestação dos Serviços de Saneamento Básico. Relatório RL-14015-PLD-SAN-DIG-001-1. 26/Janeiro/2016. 546 pag.

NAVIONICS. A Germin Company. 2023. Disponível em: <<https://webapp.navionics.com/#boating@8&key=rnGjzgwH>>. Acesso em: 18 ago. 2023.

NETTO, J.M.de Azevedo; JEZLER. H. Lançamento Submarino de Esgotos de Santos e São Vicente. *Revista do Departamento de Águas e Esgotos de São Paulo - D.A.E*, São Paulo, ano 18, Nº22,p. 7-35, junho de 1957.

NITTROUER, C. A. *et al.* A multidisciplinary amazon shelf sediment study. *EOS Transactions - American Geophysical Union, Estados Unidos*, v. 71, n. 45: p. 1771-1777. 1990.

NUVOLARI, A.; TELLES, D. D'A.; RIBEIRO, J. T.; MIYASHITA, N. J.; RODRIGUES, R. B.; ARAÚJO, R. de. *Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola*. 1a ed. São Paulo, Edgard Blücher, 2003.

OKUWA, M.; PEDI, D.; MAFICO, V.; RWODZI, L. (2019). Community engagement in water and sanitation development projects in rural Zimbabwe. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 111, 430-436. 10.1016/j.pce.2018.10.028.

ORTIZ, Jayme Pinto; BRAULIO, A.; YANES, J. P. Wastewater marine disposal through outfalls on the coast of São Paulo State Brazil: an overview. *Revista DAE*, v. 64, n. 204, p. 29-46, 2016.

PEREIRA, J.P.F.N. 2013. Monitoramento de água de lastro na zona portuária de Santana/AP: suporte às políticas públicas de gerenciamento. Dissertação de Mestrado do PPGDAPP/UNIFAP. 122 p.

PEREIRA, NEWTON NARCISO; BOTTER, RUI CARLOS; FOLENA, RAFAEL DOMPIERI; PEREIRA, JOSÉ PINHEIRO FRAGOSO NETO; DA CUNHA, ALAN CAVALCANTI. Ballast water: A threat to the Amazon Basin. *Marine Pollution Bulletin.*, v. 84, p. 330-338, 2014.

PINHEIRO, L. A. R; CUNHA, A. C; CUNHA, H. F. A; BRITO, D. C; SARAIVA, J. B. Aplicação de simulação computacional à dispersão de poluentes no baixo Rio Amazonas: potenciais riscos à captação de água na orla de Macapá-AP. *Amazônia*, v. 1, p. 7-24, 2008.

PPI – Polyethylene Pipe Institute. Handbook of marine installations, 2003. Disponível em: <<http://www.plasticpipe.org/pdf/pubs/handbook/hvacapps.pdf>> Acesso: 5 abr. 2023.

RAS. Relatório Ambiental Simplificado. 2012. Companhia Norte de Navegação e Portos (CIANPORT).

REDVALVE COMPANY. Tideflex Effluent Diffusers. CD ROM. 2004.

ROBERTS, P. J. W.; SNYDER, W. H.; BAUMGARTNER, D. J. Ocean outfalls I: submerged wastefield formation. *Journal of Hydraulic Engineering - ASCE*, v. 115, n. 1, p. 1-25, 1989a.

ROBERTS, P. J. W.; SNYDER, W. H.; BAUMGARTNER, D. J. Ocean outfalls II: spatial evolution of submerged wastefield. *Journal of Hydraulic Engineering - ASCE*, v. 115, n. 1, p. 26-48, 1989b.

ROBERTS, P. J. W.; SNYDER, W. H.; BAUMGARTNER, D. J. Ocean outfalls III: effect of diffuser design on submerged wastefield. *Journal of Hydraulic Engineering - ASCE*, v. 115, n. 1, p. 49-70, 1989c.

ROBERTS, Philip (2016). Treatment Options for Marine Wastewater Discharges. pp. 1–194.

RODRIGUES, J. C. S. Monitoramento de emissário submarino como ferramenta na evolução do padrão da qualidade das águas na Baía de Santos. 2012. Dissertação de mestrado em Tecnologia no Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza - CEETEPS. São Paulo-SP. 210 p.

SALAS, H. J. Submarine Outfalls a Viable Alternative for Sewage Discharge of Coastal Cities in America and Caribbean. Pan American Center for Sanitary Engineering and Environmental Sciences (CEPIS). Division of Health Environment / Pan American Organization OPS/CEPIS/PUB/00.57. 2000.

SANTOS, André Bezerra dos. Avaliação técnica de sistemas de tratamento de esgotos. 2007.

SANTOS, F. N. B. Análise comparativa dos custos operacionais de 44 estações de tratamento de esgoto na região sudeste do Brasil. Orientador: Cesar Rossas Mota Filho. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, 2018.

SANTOS, V.F., Figueiredo Jr, A.G., SILVEIRA, O.F.M. and POLIDORI, L. (2002), Mecanismos de Modificações de Curto Período na Planície Costeira do Amapá, in IV ABEQUA, Recife-PE, CD-ROM, Vol. 9, p. 5.

SILVA JUNIOR, O. M.; SANTOS, L. S.; RODRIGUES, M. R. C. Panorama dos riscos costeiros no Estado do Amapá: conhecer para agir. In: Redução do risco de desastres e a resiliência no meio rural e urbano. 2 ed. São Paulo: Centro Paula Souza, 2020, v.2, p. 454-472. Disponível em: <[https://www.agbbauru.org.br/publicacoes/Reducao2020/Reducao\\_2ed-2020-25.pdf](https://www.agbbauru.org.br/publicacoes/Reducao2020/Reducao_2ed-2020-25.pdf)>. Acesso em: 7 ago. 2023.

SILVA, Danilo do Rosário e. Análise da viabilidade do uso do PEAD no sistema de abastecimento de água. 2018. 69 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Gestão de Recursos Hídricos, Ambientais e Energéticos, Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável - IEDS, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, São Paulo, 2018.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO DO SANEAMENTO BÁSICO (SNIS). Disponível em: <<https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis/area-do-prestador-e-municipios>>. Acesso em 14 de setembro de 2023.

SOUZA, J. F. *et al.* Emissários submarinos, uma alternativa para a disposição final de efluentes em cidades costeiras. Departamento de Física. Universidade Federal do Rio Grande. Brasil, 2007.

SPYROPOULOS, K.S.; ANDRIANIS, E.G. Long underwater effluent discharge pipelines experience gained from the thessaloniki outfall. In: XXX IAHR Congress. Thessaloniki, Greece. 2003.

TAVARES, D. F. Simulação no campo próximo da dispersão de efluentes oriundos de um emissário submarino. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Florianópolis, 2010.

TONETTI, A. L. *et al.* Tratamento de Esgotos Domésticos em Comunidades Isoladas: referencial para a escolha de soluções. Campinas, São Paulo. Biblioteca UNICAMP, 2018.

TORRES, A.M.; EL-ROBRINI, M.; COSTA, W.J.P., Panorama da erosão costeira—Amapá, In Panorama da Erosão Costeira no Brasil Muehe, D. (Ed.). Publisher: Ministério do Meio Ambiente, Macapá, Brasil, 2018; pp. 761.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. Abastecimento de água. 3.ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

TSUTIYA, M. T.; ALEM SOBRINHO, P. A. Coleta e Transporte de Esgoto Sanitário. 3ª edição. Rio de Janeiro: ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2011, 548 p.

TSUTIYA, M. T.; BUENO, R. C. R. “Contribuição de águas pluviais em sistemas de esgoto sanitário no Brasil”. In: Água Latinoamérica. ADIS – Asociación Dominicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. jul./ago 2004.

VIEGAS, C. J. T.; SILVA, T. S.; CUNHA, H. F. A.; CUNHA, A. C. Sistema de esgotamento sanitário e casos de diarreia em Macapá - AP. Revista Ibero-americana de Ciências Ambientais, v. 12, p. 304-316, 2021.

VITAL, H. and STATTEGGER, K. (2000), Major and trace elements of stream sediments from the lowermost Amazon River. Chemical Geology, Vol. 168, No. 1, pp. 151-168.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. 3. ed. v. 1. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - DESA; Universidade Federal de Minas Gerais, 2005, 452 p.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto / Marcos von Sperling. – 4. Ed. – Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014. 472p.: il. – (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias; v.1).

VON SPERLING, Marcos. Princípios do tratamento biológico de águas residuais. Vol.1. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3ª Ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG. 243 p., 1996.

WARD, N. D; KEIL, R. G.; MEDEIROS, P. M.; BRITO, D. C.; CUNHA, A.C.; DITTMAR, T.; YAGER, P. L; KRUSCHE, A. V. E RICHEY, J. E. A Degradation of terrestrially derived macromolecules in the Amazon River. Nature Geoscience, 13 May, 2013.

WHO. World Health Organization. Guidelines for Safe Recreational Water Environments. Coastal and fresh waters. 2003. Disponível em: < <https://apps.who.int/iris/handle/10665/42591>>. Acesso em: 10 ago. 2023.

WILKINSON, D. L.; WAREHAM, D. G. Optimization criteria for design of coastal city wastewater disposal systems. In: Proclamation Clean Sea 96. Toyohashi, Japan. 1996.


WOOD, I. R.; BELL, R. G.; WILKINSON, D. L. Ocean disposal of wastewater. World Scientific, Singapore, 1993.

WRC - Design Guide for marine treatment schemes. Water Research Centre. Swindon, UK, 1990.

YANES, Jacqueline Pedrera. Parâmetros mais influentes na previsão da diluição inicial em sistemas de emissários submarinos: uma contribuição baseada em técnicas de planejamento de experimentos e superfícies de resposta. 2017. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.


YANG, L., CHANG, W., HUANG, M. L., Natural disinfection of wastewater in marine outfall fields. *Water. Research*, v.34, p. 743-750. 2000.

## APÊNDICE A – PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS EMISSÁRIOS

Pré-projeto: Emissário subfluvial de Macapá - EM1 Instituição: Universidade Federal do Amapá Data: Agosto/2023		 <b>UNIFAP</b> Universidade Federal do Amapá		
<b>1</b>	<b>DIMENSIONAMENTO - EMISSÁRIO SUBFLUVIAL - EM1 (T. PRELIMINAR)</b>			
<b>1.1</b>	<b>ESTIMATIVA POPULACIONAL (MÉTODO GEOMÉTRICO)</b>			
	<b>DADO</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDADE</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
	P1	118913	<b>hab</b>	População no ano de 2022
	t1	2010	<b>ano</b>	Penúltimo ano considerado
	t	2042	<b>ano</b>	Último ano considerado
	Kg	0,0089	<b>hab/ano</b>	Taxa de crescimento anual
	$P = P1 * e^{(Kg * (t - t1))}$			
	P	158094	<b>hab</b>	População estimada em 20 anos
	Obs.: Foi necessário utilizar a taxa geométrica de Macapá/AP fornecida pelo IBGE (Censo 2022) para a utilização na estimativa populacional, visto que o Censo atual ainda não disponibilizou os dados populacionais isolados por bairro/setor			
<b>1.2</b>	<b>VAZÃO DE PROJETO</b>			
	q	300	<b>(L*dia)/hab</b>	Consumo de água per capita
	Cr	0,8	<b>adimensional</b>	Coefficiente de retorno
	K1	1,2	<b>adimensional</b>	Coefficiente de máxima vazão diária
	K2	1,5	<b>adimensional</b>	Coefficiente de máxima vazão horária
	$Q = (P * q * Cr * K1 * K2) / 86400$			
	Q	0,79	<b>m³/s</b>	Vazão de esgoto máxima estimada
<b>1.4</b>	<b>CORRENTE DE PROJETO</b>			
	v	0,50	<b>m/s</b>	Velocidade média da corrente no ponto de implantação
<b>1.5</b>	<b>TAXA DE DECAIMENTO BACTERIANO E ZONA DE BALNEABILIDADE</b>			
	T90	4,50	<b>horas</b>	Tempo de desaparecimento de 90% de uma população inicial de bactérias
	C	1,00E+07	<b>NMP/100ml</b>	Densidade de coliformes fecais típica do esgoto bruto
	Co	1,00E+03	<b>NMP/100ml</b>	Padrão satisfatório de balneabilidade
	Zp	300	<b>m</b>	Zona de balneabilidade ou proteção
<b>1.6</b>	<b>ESTIMATIVA DO COMPRIMENTO DO EMISSÁRIO</b>			
	L	5000	<b>m</b>	Comprimento estimado/desejado do emissário
	$L_{total} = L + Zp$			
	Ltotal	5300	<b>m</b>	Comprimento total do emissário
<b>1.7</b>	<b>CÁLCULO DO DIÂMETRO DO EMISSÁRIO</b>			
	Vmax	2,50	<b>m/s</b>	Velocidade máxima do fluxo (adotada)
	$D = \sqrt{(4 * Q_{max}) / (\pi * V_{max})}$			
	De	635	<b>mm</b>	Diâmetro externo do emissário


	Dadotado	710	mm	Diâmetro comercial do emissário
<b>1.8</b>	<b>CÁLCULO DA ESPESSURA E SDR DO TUBO</b>			
	Dadotado	710	mm	Diâmetro comercial do emissário
	p	1,00	MPa	Pressão nominal
	$\sigma$	10,00	MPa	Tensão de projeto em 50 anos
	$s = (p \cdot \text{Dadotado}) / (2 \cdot \sigma + p)$			
	s	33,81	mm	Espessura do tubo PE100
	SDR = Dadotado/s			
	SDR	21	adimensional	Relação diâmetro externo e espessura
<b>1.9</b>	<b>CÁLCULO DO DIFUSOR</b>			
	Considerações:			
	-> Área dos orifícios = 33 a 66% da área transversal da tubulação do emissário			
	-> Espaçamento = 1/5 a 1/10 da altura da pluma			
	-> d = 7 a 10 cm			
	-> V = 0,9 a 3 m/s			
	-> Qu = 11 L/(s.m)			
	Di	642	mm	Diâmetro interno do emissário
	Ai	0,32	m <sup>2</sup>	Área da seção transversal do diâmetro interno
	$\sum A_i$	0,21	m <sup>2</sup>	66% da área da seção transversal do diâmetro interno
	d	100	mm	Diâmetro adotado do orifício
	a	0,01	m <sup>2</sup>	Área da seção transversal do diâmetro do orifício
	Ndif	42	adimensional	Quantidade de saídas/difusores
	E = H/5			
	H	26	m	Altura da coluna de água no campo de mistura
	E	5,20	m	Espaçamento entre difusores
	Ldif = (N-1)*E			
	Ldif	214	m	Comprimento total do espaçamento entre os difusores
	Qu = Qmax/(Ndif*Ldif)			
	Qu	0,09	L/(s.m)	Vazão unitária (< 11, ok)
<b>1.10</b>	<b>CÁLCULO DA DILUIÇÃO INICIAL</b>			
	q	0,00369	m <sup>2</sup> /s	Fluxo de vazão
	m = v*q			
	m	0,00185	m <sup>3</sup> /s <sup>2</sup>	Fluxo de momento
	$g'o = g \cdot (p_a - p_o) / p_a$			
	g	9,81	m/s <sup>2</sup>	Aceleração da gravidade local
	pa	1024,5	kg/m <sup>3</sup>	Massa específica do corpo receptor
	po	997	kg/m <sup>3</sup>	Massa específica do efluente
	g'o	0,26	m/s <sup>2</sup>	Aceleração da gravidade modificada

			$N = ((g/pa)*(dp/dz))^{1/2}$	
df	1,0235	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	Massa específica da água do fundo	
ds	1,0245	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	Massa específica da água da superfície	
dp	0,0010	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	Diferença entre a massa específica da água da superfície e do fundo	
N	0,0067	<b>adimensional</b>	Frequência de boiância	
			$b = g'o*q$	
b	0,00097	<b>m<sup>3</sup>/s<sup>3</sup></b>	Fluxo de boiância	
			$F = v^3/b$	
F	128,51	<b>adimensional</b>	Número de Froude-Roberts	
			$D1 = (Di*b^{(2/3)})/(q*N)$	
Di	3,50	<b>adimensional</b>	Valor da relação empírica	
D1	1390,59	<b>adimensional</b>	Diluição inicial mínima	
<b>1.11</b>	<b>DETERMINAÇÃO DA DISPERSÃO HORIZONTAL</b>			
	L	5000	<b>m</b>	Comprimento estimado/desejado do emissário
	v	30,00	<b>m/min</b>	Velocidade mínima da corrente no ponto de implantação
	Ldif	214,00	<b>m</b>	Comprimento total do espaçamento entre os difusores
	D2	2,20	<b>adimensional</b>	Dispersão horizontal
<b>1.12</b>	<b>DETERMINAÇÃO DO DECAIMENTO BACTERIANO</b>			
	T	2,78	<b>horas</b>	Tempo de deslocamento do campo do efluente até a área a proteger
				$D3 = 10^{(T/T90)}$
	D3	4,14	<b>adimensional</b>	Decaimento bacteriano
<b>1.13</b>	<b>REDUÇÃO TOTAL DA DENSIDADE DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES</b>			
	D1	1390,59	<b>adimensional</b>	Diluição inicial mínima
	D2	2,20	<b>adimensional</b>	Dispersão horizontal
	D3	4,14	<b>adimensional</b>	Decaimento bacteriano
				$Rt = D1*D2*D3$
	Rt	12674	<b>adimensional</b>	Redução total de coliformes
				$Rn = C/Co$
	Rn	10000	<b>adimensional</b>	Redução necessária de coliformes
	Se $Rt \geq Rn$ , comprimento determinado do emissário está atendendo			

<b>Pré-projeto: Emissário subfluvial de Macapá - EM1</b> <b>Instituição: Universidade Federal do Amapá</b> <b>Data: Agosto/2023</b>		 <b>UNIFAP</b> Universidade Federal do Amapá		
<b>1</b>	<b>DIMENSIONAMENTO - EMISSÁRIO SUBFLUVIAL - EM1 (T. PRIMÁRIO)</b>			
<b>1.1</b>	<b>ESTIMATIVA POPULACIONAL (MÉTODO GEOMÉTRICO)</b>			
	<b>DADO</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDADE</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
	P1	118913	<b>hab</b>	População no ano de 2022
	t1	2010	<b>ano</b>	Penúltimo ano considerado
	t	2042	<b>ano</b>	Último ano considerado
	Kg	0,0089	<b>hab/ano</b>	Taxa de crescimento anual
	$P = P1 * e^{(Kg * (t - t1))}$			
	P	158094	<b>hab</b>	População estimada em 20 anos
	Obs.: Necessitou utilizar a taxa geométrica de Macapá/AP fornecida pelo IBGE (Censo 2022) para a utilização na estimativa populacional, visto que o Censo atual ainda não disponibilizou os dados populacionais isolados por bairro/setor			
<b>1.2</b>	<b>VAZÃO DE PROJETO</b>			
	q	300	<b>(L*dia)/hab</b>	Consumo de água per capita
	Cr	0,8	<b>adimensional</b>	Coefficiente de retorno
	K1	1,2	<b>adimensional</b>	Coefficiente de máxima vazão diária
	K2	1,5	<b>adimensional</b>	Coefficiente de máxima vazão horária
	$Q = (P * q * Cr * K1 * K2) / 86400$			
	Q	0,79	<b>m³/s</b>	Vazão de esgoto máxima estimada
<b>1.4</b>	<b>CORRENTE DE PROJETO</b>			
	v	0,50	<b>m/s</b>	Velocidade média da corrente no ponto de implantação
<b>1.5</b>	<b>TAXA DE DECAIMENTO BACTERIANO E ZONA DE BALNEABILIDADE</b>			
	T90	4,50	<b>horas</b>	Tempo de desaparecimento de 90% de uma população inicial de bactérias
	C	1,00E+07	<b>NMP/100ml</b>	Densidade de coliformes fecais típica do esgoto bruto
	Co	1,00E+03	<b>NMP/100ml</b>	Padrão satisfatório de balneabilidade
	Zp	300	<b>m</b>	Zona de balneabilidade ou proteção
<b>1.6</b>	<b>ESTIMATIVA DO COMPRIMENTO DO EMISSÁRIO</b>			
	L	3500	<b>m</b>	Comprimento estimado/desejado do emissário
	$L_{total} = L + Zp$			
	Ltotal	3800	<b>m</b>	Comprimento total do emissário
<b>1.7</b>	<b>CÁLCULO DO DIÂMETRO DO EMISSÁRIO</b>			
	Vmax	2,50	<b>m/s</b>	Velocidade máxima do fluxo (adotada)
	$D = \sqrt{((4 * Q_{max}) / (\pi * V_{max}))}$			
	De	635	<b>mm</b>	Diâmetro externo do emissário
	Dadotado	710	<b>mm</b>	Diâmetro comercial do emissário


1.8	CÁLCULO DA ESPESSURA E SDR DO TUBO			
Dadotado	710	mm	Diâmetro comercial do emissário	
p	1,00	MPa	Pressão nominal	
$\sigma$	10,00	MPa	Tensão de projeto em 50 anos	
$s = (p \cdot \text{Dadotado}) / (2 \cdot \sigma + p)$				
s	33,81	mm	Espessura do tubo PE100	
SDR = Dadotado/s				
SDR	21	adimensional	Relação diâmetro externo e espessura	
1.9	CÁLCULO DO DIFUSOR			
Considerações: -> Área dos orifícios = 33 a 66% da área transversal da tubulação do emissário -> Espaçamento = 1/5 a 1/10 da altura da pluma -> d = 7 a 10 cm -> V = 0,9 a 3 m/s -> Qu = 11 L/(s.m)				
Di	642	mm	Diâmetro interno do emissário	
Ai	0,32	m <sup>2</sup>	Área da seção transversal do diâmetro interno	
$\sum A_i$	0,21	m <sup>2</sup>	66% da área da seção transversal do diâmetro interno	
d	100	mm	Diâmetro adotado do orifício	
a	0,01	m <sup>2</sup>	Área da seção transversal do diâmetro do orifício	
Ndif	42	adimensional	Quantidade de saídas/difusores	
E = H/5				
H	21	m	Altura da coluna de água no campo de mistura	
E	4,20	m	Espaçamento entre difusores	
Ldif = (N-1)*E				
Ldif	173	m	Comprimento total do espaçamento entre os difusores	
Qu = Qmax/(Ndif*Ldif)				
Qu	0,11	L/(s.m)	Vazão unitária (< 11, ok)	
1.10	CÁLCULO DA DILUIÇÃO INICIAL			
q	0,00457	m <sup>2</sup> /s	Fluxo de vazão	
m = v*q				
m	0,00228	m <sup>3</sup> /s <sup>2</sup>	Fluxo de momento	
$g'o = g \cdot (p_a - p_o) / p_a$				
g	9,81	m/s <sup>2</sup>	Aceleração da gravidade local	
pa	1024,5	kg/m <sup>3</sup>	Massa específica do corpo receptor	
po	997	kg/m <sup>3</sup>	Massa específica do efluente	
g'o	0,26	m/s <sup>2</sup>	Aceleração da gravidade modificada	
$N = ((g/p_a) \cdot (dp/dz))^{1/2}$				

	df	1,0235	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	Massa específica da água do fundo
	ds	1,0245	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	Massa específica da água da superfície
	dp	0,0010	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	Diferença entre a massa específica da água da superfície e do fundo
	N	0,0074	<b>adimensional</b>	Frequência de boiância
			$b = g' \cdot o \cdot q$	
	b	0,00120	<b>m<sup>3</sup>/s<sup>3</sup></b>	Fluxo de boiância
			$F = v^3/b$	
	F	103,89	<b>adimensional</b>	Número de Froude-Roberts
			$D1 = (Di \cdot b^{(2/3)}) / (q \cdot N)$	
	Di	3,50	<b>adimensional</b>	Valor da relação empírica
	D1	1164,73	<b>adimensional</b>	Diluição inicial mínima
<b>1.11</b>	<b>DETERMINAÇÃO DA DISPERSÃO HORIZONTAL</b>			
	L	3500	<b>m</b>	Comprimento estimado/desejado do emissário
	v	30,00	<b>m/min</b>	Velocidade mínima da corrente no ponto de implantação
	Ldif	173,00	<b>m</b>	Comprimento total do espaçamento entre os difusores
	D2	2,00	<b>adimensional</b>	Dispersão horizontal
<b>1.12</b>	<b>DETERMINAÇÃO DO DECAIMENTO BACTERIANO</b>			
	T	1,94	<b>horas</b>	Tempo de deslocamento do campo do efluente até a área a proteger
			$D3 = 10^{(T/T90)}$	
	D3	2,70	<b>adimensional</b>	Decaimento bacteriano
<b>1.13</b>	<b>REDUÇÃO TOTAL DA DENSIDADE DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES</b>			
	D1	1164,73	<b>adimensional</b>	Diluição inicial mínima
	D2	2,00	<b>adimensional</b>	Dispersão horizontal
	D3	2,70	<b>adimensional</b>	Decaimento bacteriano
			$Rt = D1 \cdot D2 \cdot D3$	
	Rt	6301	<b>adimensional</b>	Redução total de coliformes
			$Rn = (0,6 \cdot C) / Co$	
	Rn	6000	<b>adimensional</b>	Redução necessária de coliformes
	Se $Rt \geq Rn$ , comprimento determinado do emissário está atendendo			

<b>Pré-projeto: Emissário subfluvial de Macapá - EM2</b> <b>Instituição: Universidade Federal do Amapá</b> <b>Data: Agosto/2023</b>		 <b>UNIFAP</b> Universidade Federal do Amapá		
<b>1</b>	<b>DIMENSIONAMENTO - EMISSÁRIO SUBFLUVIAL - EM2 (T. PRELIMINAR)</b>			
<b>1.1</b>	<b>ESTIMATIVA POPULACIONAL (MÉTODO GEOMÉTRICO)</b>			
	<b>DADO</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDADE</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
	P1	223347	<b>hab</b>	População no ano de 2022
	t1	2010	<b>ano</b>	Penúltimo ano considerado
	t	2042	<b>ano</b>	Último ano considerado
	Kg	0,0089	<b>hab/ano</b>	Taxa de crescimento anual
	$P = P1 * e^{(Kg * (t - t1))}$			
	P	296939	<b>hab</b>	População estimada em 20 anos
	Obs.: Necessitou utilizar a taxa geométrica de Macapá/AP fornecida pelo IBGE (Censo 2022) para a utilização na estimativa populacional, visto que o Censo atual ainda não disponibilizou os dados populacionais isolados por bairro/setor			
<b>1.2</b>	<b>VAZÃO DE PROJETO</b>			
	q	300	<b>(L*dia)/hab</b>	Consumo de água per capita
	Cr	0,8	<b>adimensional</b>	Coefficiente de retorno
	K1	1,2	<b>adimensional</b>	Coefficiente de máxima vazão diária
	K2	1,5	<b>adimensional</b>	Coefficiente de máxima vazão horária
	$Q = (P * q * Cr * K1 * K2) / 86400$			
	Q	1,48	<b>m³/s</b>	Vazão de esgoto máxima estimada
<b>1.4</b>	<b>CORRENTE DE PROJETO</b>			
	v	0,50	<b>m/s</b>	Velocidade média da corrente no ponto de implantação
<b>1.5</b>	<b>TAXA DE DECAIMENTO BACTERIANO E ZONA DE BALNEABILIDADE</b>			
	T90	4,50	<b>horas</b>	Tempo de desaparecimento de 90% de uma população inicial de bactérias
	C	1,00E+07	<b>NMP/100ml</b>	Densidade de coliformes fecais típica do esgoto bruto
	Co	1,00E+03	<b>NMP/100ml</b>	Padrão satisfatório de balneabilidade
	Zp	300	<b>m</b>	Zona de balneabilidade ou proteção
<b>1.6</b>	<b>ESTIMATIVA DO COMPRIMENTO DO EMISSÁRIO</b>			
	L	5000	<b>m</b>	Comprimento estimado/desejado do emissário
	$L_{total} = L + Zp$			
	Ltotal	5300	<b>m</b>	Comprimento total do emissário
<b>1.7</b>	<b>CÁLCULO DO DIÂMETRO DO EMISSÁRIO</b>			
	Vmax	2,50	<b>m/s</b>	Velocidade máxima do fluxo (adotada)
	$D = \sqrt{(4 * Q_{max}) / (\pi * V_{max})}$			
	De	870	<b>mm</b>	Diâmetro externo do emissário
	Dadotado	900	<b>mm</b>	Diâmetro comercial do emissário


1.8	<b>CÁLCULO DA ESPESSURA E SDR DO TUBO</b>			
Dadotado	900	mm	Diâmetro comercial do emissário	
p	1,00	MPa	Pressão nominal	
σ	10,00	MPa	Tensão de projeto em 50 anos	
$s = (p \cdot \text{Dadotado}) / (2 \cdot \sigma + p)$				
s	42,86	mm	Espessura do tubo PE100	
$\text{SDR} = \text{Dadotado} / s$				
SDR	21	adimensional	Relação diâmetro externo e espessura	
1.9	<b>CÁLCULO DO DIFUSOR</b>			
Considerações: -> Área dos orifícios = 33 a 66% da área transversal da tubulação do emissário -> Espaçamento = 1/5 a 1/10 da altura da pluma -> d = 7 a 10 cm -> V = 0,9 a 3 m/s -> Qu = 11 L/(s.m)				
Di	814	mm	Diâmetro interno do emissário	
Ai	0,52	m <sup>2</sup>	Área da seção transversal do diâmetro interno	
ΣAi	0,34	m <sup>2</sup>	66% da área da seção transversal do diâmetro interno	
d	100	mm	Diâmetro adotado do orifício	
a	0,01	m <sup>2</sup>	Área da seção transversal do diâmetro do orifício	
Ndif	67	adimensional	Quantidade de saídas/difusores	
$E = H / 5$				
H	26	m	Altura da coluna de água no campo de mistura	
E	5,20	m	Espaçamento entre difusores	
$L_{\text{dif}} = (N - 1) \cdot E$				
Ldif	344	m	Comprimento total do espaçamento entre os difusores	
$Q_u = Q_{\text{max}} / (N_{\text{dif}} \cdot L_{\text{dif}})$				
Qu	0,06	L/(s.m)	Vazão unitária (< 11, ok)	
1.10	<b>CÁLCULO DA DILUIÇÃO INICIAL</b>			
q	0,00432	m <sup>2</sup> /s	Fluxo de vazão	
$m = v \cdot q$				
m	0,00216	m <sup>3</sup> /s <sup>2</sup>	Fluxo de momento	
$g'_{\text{o}} = g \cdot (p_a - p_o) / p_a$				
g	9,81	m/s <sup>2</sup>	Aceleração da gravidade local	
pa	1024,5	kg/m <sup>3</sup>	Massa específica do corpo receptor	
po	997	kg/m <sup>3</sup>	Massa específica do efluente	
g'o	0,26	m/s <sup>2</sup>	Aceleração da gravidade modificada	
$N = ((g/p_a) \cdot (dp/dz))^{1/2}$				

	df	1,0235	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	Massa específica da água do fundo
	ds	1,0245	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	Massa específica da água da superfície
	dp	0,0010	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	Diferença entre a massa específica da água da superfície e do fundo
	N	0,0053	<b>adimensional</b>	Frequência de boiância
			$b = g' \cdot o \cdot q$	
	b	0,00114	<b>m<sup>3</sup>/s<sup>3</sup></b>	Fluxo de boiância
			$F = v^3/b$	
	F	109,99	<b>adimensional</b>	Número de Froude-Roberts
			$D1 = (Di \cdot b^{(2/3)}) / (q \cdot N)$	
	Di	3,50	<b>adimensional</b>	Valor da relação empírica
	D1	1673,92	<b>adimensional</b>	Diluição inicial mínima
<b>1.11</b>	<b>DETERMINAÇÃO DA DISPERSÃO HORIZONTAL</b>			
	L	5000	<b>m</b>	Comprimento estimado/desejado do emissário
	v	30,00	<b>m/min</b>	Velocidade mínima da corrente no ponto de implantação
	Ldif	344,00	<b>m</b>	Comprimento total do espaçamento entre os difusores
	D2	2,00	<b>adimensional</b>	Dispersão horizontal
<b>1.12</b>	<b>DETERMINAÇÃO DO DECAIMENTO BACTERIANO</b>			
	T	2,78	<b>horas</b>	Tempo de deslocamento do campo do efluente até a área a proteger
			$D3 = 10^{(T/T90)}$	
	D3	4,14	<b>adimensional</b>	Decaimento bacteriano
<b>1.13</b>	<b>REDUÇÃO TOTAL DA DENSIDADE DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES</b>			
	D1	1673,92	<b>adimensional</b>	Diluição inicial mínima
	D2	2,00	<b>adimensional</b>	Dispersão horizontal
	D3	4,14	<b>adimensional</b>	Decaimento bacteriano
			$Rt = D1 \cdot D2 \cdot D3$	
	Rt	13870	<b>adimensional</b>	Redução total de coliformes
			$Rn = C/Co$	
	Rn	10000	<b>adimensional</b>	Redução necessária de coliformes
	Se $Rt \geq Rn$ , comprimento determinado do emissário está atendendo			

<b>Pré-projeto: Emissário subfluvial de Macapá - EM2</b> <b>Instituição: Universidade Federal do Amapá</b> <b>Data: Agosto/2023</b>		 <b>UNIFAP</b> Universidade Federal do Amapá		
<b>1</b>	<b>DIMENSIONAMENTO - EMISSÁRIO SUBFLUVIAL - EM2 (T. PRIMÁRIO)</b>			
<b>1.1</b>	<b>ESTIMATIVA POPULACIONAL (MÉTODO GEOMÉTRICO)</b>			
	<b>DADO</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDADE</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
	P1	223347	<b>hab</b>	População no ano de 2022
	t1	2010	<b>ano</b>	Penúltimo ano considerado
	t	2042	<b>ano</b>	Último ano considerado
	Kg	0,0089	<b>hab/ano</b>	Taxa de crescimento anual
	$P = P1 * e^{(Kg * (t - t1))}$			
	P	296939	<b>hab</b>	População estimada em 20 anos
	Obs.: Necessitou utilizar a taxa geométrica de Macapá/AP fornecida pelo IBGE (Censo 2022) para a utilização na estimativa populacional, visto que o Censo atual ainda não disponibilizou os dados populacionais isolados por bairro/setor			
<b>1.2</b>	<b>VAZÃO DE PROJETO</b>			
	q	300	<b>(L*dia)/hab</b>	Consumo de água per capita
	Cr	0,8	<b>adimensional</b>	Coefficiente de retorno
	K1	1,2	<b>adimensional</b>	Coefficiente de máxima vazão diária
	K2	1,5	<b>adimensional</b>	Coefficiente de máxima vazão horária
	$Q = (P * q * Cr * K1 * K2) / 86400$			
	Q	1,48	<b>m³/s</b>	Vazão de esgoto máxima estimada
<b>1.4</b>	<b>CORRENTE DE PROJETO</b>			
	v	0,50	<b>m/s</b>	Velocidade média da corrente no ponto de implantação
<b>1.5</b>	<b>TAXA DE DECAIMENTO BACTERIANO E ZONA DE BALNEABILIDADE</b>			
	T90	4,50	<b>horas</b>	Tempo de desaparecimento de 90% de uma população inicial de bactérias
	C	1,00E+07	<b>NMP/100ml</b>	Densidade de coliformes fecais típica do esgoto bruto
	Co	1,00E+03	<b>NMP/100ml</b>	Padrão satisfatório de balneabilidade
	Zp	300	<b>m</b>	Zona de balneabilidade ou proteção
<b>1.6</b>	<b>ESTIMATIVA DO COMPRIMENTO DO EMISSÁRIO</b>			
	L	3200	<b>m</b>	Comprimento estimado/desejado do emissário
	$L_{total} = L + Zp$			
	Ltotal	3500	<b>m</b>	Comprimento total do emissário
<b>1.7</b>	<b>CÁLCULO DO DIÂMETRO DO EMISSÁRIO</b>			
	Vmax	2,50	<b>m/s</b>	Velocidade máxima do fluxo (adotada)
	$D = \sqrt{(4 * Q_{max}) / (\pi * V_{max})}$			
	De	870	<b>mm</b>	Diâmetro externo do emissário
	Dadotado	900	<b>mm</b>	Diâmetro comercial do emissário

1.8	CÁLCULO DA ESPESSURA E SDR DO TUBO			
Dadotado	900	mm	Diâmetro comercial do emissário	
p	1,00	MPa	Pressão nominal	
σ	10,00	MPa	Tensão de projeto em 50 anos	
$s = (p \cdot \text{Dadotado}) / (2 \cdot \sigma + p)$				
s	42,86	mm	Espessura do tubo PE100	
SDR = Dadotado/s				
SDR	21	adimensional	Relação diâmetro externo e espessura	
1.9	CÁLCULO DO DIFUSOR			
Considerações: -> Área dos orifícios = 33 a 66% da área transversal da tubulação do emissário -> Espaçamento = 1/5 a 1/10 da altura da pluma -> d = 7 a 10 cm -> V = 0,9 a 3 m/s -> Qu = 11 L/(s.m)				
Di	814	mm	Diâmetro interno do emissário	
Ai	0,52	m <sup>2</sup>	Área da seção transversal do diâmetro interno	
ΣAi	0,34	m <sup>2</sup>	66% da área da seção transversal do diâmetro interno	
d	100	mm	Diâmetro adotado do orifício	
a	0,01	m <sup>2</sup>	Área da seção transversal do diâmetro do orifício	
Ndif	67	adimensional	Quantidade de saídas/difusores	
E = H/5				
H	25	m	Altura da coluna de água no campo de mistura	
E	5,00	m	Espaçamento entre difusores	
Ldif = (N-1)*E				
Ldif	330	m	Comprimento total do espaçamento entre os difusores	
Qu = Qmax/(Ndif*Ldif)				
Qu	0,07	L/(s.m)	Vazão unitária (< 11, ok)	
1.10	CÁLCULO DA DILUIÇÃO INICIAL			
q	0,00450	m <sup>2</sup> /s	Fluxo de vazão	
m = v*q				
m	0,00225	m <sup>3</sup> /s <sup>2</sup>	Fluxo de momento	
$g'o = g \cdot (p_a - p_o) / p_a$				
g	9,81	m/s <sup>2</sup>	Aceleração da gravidade local	
pa	1024,5	kg/m <sup>3</sup>	Massa específica do corpo receptor	
po	997	kg/m <sup>3</sup>	Massa específica do efluente	
g'o	0,26	m/s <sup>2</sup>	Aceleração da gravidade modificada	
$N = ((g/pa) \cdot (dp/dz))^{1/2}$				

	df	1,0235	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	Massa específica da água do fundo
	ds	1,0245	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	Massa específica da água da superfície
	dp	0,0010	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	Diferença entre a massa específica da água da superfície e do fundo
	N	0,0054	<b>adimensional</b>	Frequência de boiância
			$b = g'o*q$	
	b	0,00118	<b>m<sup>3</sup>/s<sup>3</sup></b>	Fluxo de boiância
			$F = v^3/b$	
	F	105,51	<b>adimensional</b>	Número de Froude-Roberts
			$D1 = (Di*b^{(2/3)})/(q*N)$	
	Di	3,50	<b>adimensional</b>	Valor da relação empírica
	D1	1616,96	<b>adimensional</b>	Diluição inicial mínima
<b>1.11</b>	<b>DETERMINAÇÃO DA DISPERSÃO HORIZONTAL</b>			
	L	3200	<b>m</b>	Comprimento estimado/desejado do emissário
	v	30,00	<b>m/min</b>	Velocidade mínima da corrente no ponto de implantação
	Ldif	330,00	<b>m</b>	Comprimento total do espaçamento entre os difusores
	D2	1,60	<b>adimensional</b>	Dispersão horizontal
<b>1.12</b>	<b>DETERMINAÇÃO DO DECAIMENTO BACTERIANO</b>			
	T	1,78	<b>horas</b>	Tempo de deslocamento do campo do efluente até a área a proteger
			$D3 = 10^{(T/T90)}$	
	D3	2,48	<b>adimensional</b>	Decaimento bacteriano
<b>1.13</b>	<b>REDUÇÃO TOTAL DA DENSIDADE DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES</b>			
	D1	1616,96	<b>adimensional</b>	Diluição inicial mínima
	D2	1,60	<b>adimensional</b>	Dispersão horizontal
	D3	2,48	<b>adimensional</b>	Decaimento bacteriano
			$Rt = D1*D2*D3$	
	Rt	6426	<b>adimensional</b>	Redução total de coliformes
			$Rn = (0,6*C)/Co$	
	Rn	6000	<b>adimensional</b>	Redução necessária de coliformes
	Se $Rt \geq Rn$ , comprimento determinado do emissário está atendendo			

<b>Pré-projeto: Emissário subfluvial de Macapá - EM3</b> <b>Instituição: Universidade Federal do Amapá</b> <b>Data: Agosto/2023</b>		 <b>UNIFAP</b> Universidade Federal do Amapá		
<b>1</b>	<b>DIMENSIONAMENTO - EMISSÁRIO SUBFLUVIAL - EM3 (T. PRELIMINAR)</b>			
<b>1.1</b>	<b>ESTIMATIVA POPULACIONAL (MÉTODO GEOMÉTRICO)</b>			
	<b>DADO</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDADE</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
	P1	8772	hab	População no ano de 2022
	t1	2010	ano	Penúltimo ano considerado
	t	2042	ano	Último ano considerado
	Kg	0,0089	hab/ano	Taxa de crescimento anual
	$P = P1 * e^{(Kg * (t - t1))}$			
	P	11662	hab	População estimada em 20 anos
	Obs.: Necessitou utilizar a taxa geométrica de Macapá/AP fornecida pelo IBGE (Censo 2022) para a utilização na estimativa populacional, visto que o Censo atual ainda não disponibilizou os dados populacionais isolados por bairro/setor			
<b>1.2</b>	<b>VAZÃO DE PROJETO</b>			
	q	300	(L*dia)/hab	Consumo de água per capita
	Cr	0,8	adimensional	Coefficiente de retorno
	K1	1,2	adimensional	Coefficiente de máxima vazão diária
	K2	1,5	adimensional	Coefficiente de máxima vazão horária
	$Q = (P * q * Cr * K1 * K2) / 86400$			
	Q	0,06	m³/s	Vazão de esgoto máxima estimada
<b>1.4</b>	<b>CORRENTE DE PROJETO</b>			
	v	0,50	m/s	Velocidade média da corrente no ponto de implantação
<b>1.5</b>	<b>TAXA DE DECAIMENTO BACTERIANO E ZONA DE BALNEABILIDADE</b>			
	T90	4,50	horas	Tempo de desaparecimento de 90% de uma população inicial de bactérias
	C	1,00E+07	NMP/100ml	Densidade de coliformes fecais típica do esgoto bruto
	Co	1,00E+03	NMP/100ml	Padrão satisfatório de balneabilidade
	Zp	300	m	Zona de balneabilidade ou proteção
<b>1.6</b>	<b>ESTIMATIVA DO COMPRIMENTO DO EMISSÁRIO</b>			
	L	4500	m	Comprimento estimado/desejado do emissário
	$L_{total} = L + Zp$			
	Ltotal	4800	m	Comprimento total do emissário
<b>1.7</b>	<b>CÁLCULO DO DIÂMETRO DO EMISSÁRIO</b>			
	Vmax	2,50	m/s	Velocidade máxima do fluxo (adotada)
	$D = \sqrt{(4 * Q_{max}) / (\pi * V_{max})}$			
	De	173	mm	Diâmetro externo do emissário
	Dadotado	180	mm	Diâmetro comercial do emissário


1.8	<b>CÁLCULO DA ESPESSURA E SDR DO TUBO</b>			
Dadotado	180	mm	Diâmetro comercial do emissário	
p	1,00	MPa	Pressão nominal	
σ	10,00	MPa	Tensão de projeto em 50 anos	
$s = (p \cdot \text{Dadotado}) / (2 \cdot \sigma + p)$				
s	8,57	mm	Espessura do tubo PE100	
$\text{SDR} = \text{Dadotado} / s$				
SDR	21	adimensional	Relação diâmetro externo e espessura	
1.9	<b>CÁLCULO DO DIFUSOR</b>			
Considerações: -> Área dos orifícios = 33 a 66% da área transversal da tubulação do emissário -> Espaçamento = 1/5 a 1/10 da altura da pluma -> d = 7 a 10 cm -> V = 0,9 a 3 m/s -> Qu = 11 L/(s.m)				
Di	163	mm	Diâmetro interno do emissário	
Ai	0,02	m <sup>2</sup>	Área da seção transversal do diâmetro interno	
ΣAi	0,01	m <sup>2</sup>	66% da área da seção transversal do diâmetro interno	
d	100	mm	Diâmetro adotado do orifício	
a	0,01	m <sup>2</sup>	Área da seção transversal do diâmetro do orifício	
Ndif	3	adimensional	Quantidade de saídas/difusores	
$E = H / 5$				
H	20	m	Altura da coluna de água no campo de mistura	
E	4,00	m	Espaçamento entre difusores	
$L_{\text{dif}} = (N - 1) \cdot E$				
Ldif	8	m	Comprimento total do espaçamento entre os difusores	
$Q_u = Q_{\text{max}} / (N_{\text{dif}} \cdot L_{\text{dif}})$				
Qu	2,43	L/(s.m)	Vazão unitária (< 11, ok)	
1.10	<b>CÁLCULO DA DILUIÇÃO INICIAL</b>			
q	0,00729	m <sup>2</sup> /s	Fluxo de vazão	
$m = v \cdot q$				
m	0,00364	m <sup>3</sup> /s <sup>2</sup>	Fluxo de momento	
$g'_{\text{o}} = g \cdot (p_a - p_o) / p_a$				
g	9,81	m/s <sup>2</sup>	Aceleração da gravidade local	
pa	1024,5	kg/m <sup>3</sup>	Massa específica do corpo receptor	
po	997	kg/m <sup>3</sup>	Massa específica do efluente	
g'o	0,26	m/s <sup>2</sup>	Aceleração da gravidade modificada	
$N = ((g/p_a) \cdot (dp/dz))^{1/2}$				

	df	1,0235	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	Massa específica da água do fundo
	ds	1,0245	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	Massa específica da água da superfície
	dp	0,0010	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	Diferença entre a massa específica da água da superfície e do fundo
	N	0,0346	<b>adimensional</b>	Frequência de boiância
			$b = g' \cdot o \cdot q$	
	b	0,00192	<b>m<sup>3</sup>/s<sup>3</sup></b>	Fluxo de boiância
			$F = v^3/b$	
	F	65,13	<b>adimensional</b>	Número de Froude-Roberts
			$D1 = (Di \cdot b^{(2/3)}) / (q \cdot N)$	
	Di	3,20	<b>adimensional</b>	Valor da relação empírica
	D1	195,98	<b>adimensional</b>	Diluição inicial mínima
<b>1.11</b>	<b>DETERMINAÇÃO DA DISPERSÃO HORIZONTAL</b>			
	L	4500	<b>m</b>	Comprimento estimado/desejado do emissário
	v	30,00	<b>m/min</b>	Velocidade mínima da corrente no ponto de implantação
	Ldif	8,00	<b>m</b>	Comprimento total do espaçamento entre os difusores
	D2	17,00	<b>adimensional</b>	Dispersão horizontal
<b>1.12</b>	<b>DETERMINAÇÃO DO DECAIMENTO BACTERIANO</b>			
	T	2,50	<b>horas</b>	Tempo de deslocamento do campo do efluente até a área a proteger
			$D3 = 10^{(T/T90)}$	
	D3	3,59	<b>adimensional</b>	Decaimento bacteriano
<b>1.13</b>	<b>REDUÇÃO TOTAL DA DENSIDADE DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES</b>			
	D1	195,98	<b>adimensional</b>	Diluição inicial mínima
	D2	17,00	<b>adimensional</b>	Dispersão horizontal
	D3	3,59	<b>adimensional</b>	Decaimento bacteriano
			$Rt = D1 \cdot D2 \cdot D3$	
	Rt	11974	<b>adimensional</b>	Redução total de coliformes
			$Rn = C/Co$	
	Rn	10000	<b>adimensional</b>	Redução necessária de coliformes
	Se $Rt \geq Rn$ , comprimento determinado do emissário está atendendo			

<b>Pré-projeto: Emissário subfluvial de Macapá - EM3</b> <b>Instituição: Universidade Federal do Amapá</b> <b>Data: Agosto/2023</b>		 <b>UNIFAP</b> Universidade Federal do Amapá		
<b>1</b>	<b>DIMENSIONAMENTO - EMISSÁRIO SUBFLUVIAL - EM3 (T. PRIMÁRIO)</b>			
<b>1.1</b>	<b>ESTIMATIVA POPULACIONAL (MÉTODO GEOMÉTRICO)</b>			
	<b>DADO</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDADE</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
	P1	8772	hab	População no ano de 2022
	t1	2010	ano	Penúltimo ano considerado
	t	2042	ano	Último ano considerado
	Kg	0,0089	hab/ano	Taxa de crescimento anual
	$P = P1 * e^{(Kg * (t - t1))}$			
	P	11662	hab	População estimada em 20 anos
	Obs.: Necessitou utilizar a taxa geométrica de Macapá/AP fornecida pelo IBGE (Censo 2022) para a utilização na estimativa populacional, visto que o Censo atual ainda não disponibilizou os dados populacionais isolados por bairro/setor			
<b>1.2</b>	<b>VAZÃO DE PROJETO</b>			
	q	300	(L*dia)/hab	Consumo de água per capita
	Cr	0,8	adimensional	Coefficiente de retorno
	K1	1,2	adimensional	Coefficiente de máxima vazão diária
	K2	1,5	adimensional	Coefficiente de máxima vazão horária
	$Q = (P * q * Cr * K1 * K2) / 86400$			
	Q	0,06	m³/s	Vazão de esgoto máxima estimada
<b>1.4</b>	<b>CORRENTE DE PROJETO</b>			
	v	0,50	m/s	Velocidade média da corrente no ponto de implantação
<b>1.5</b>	<b>TAXA DE DECAIMENTO BACTERIANO E ZONA DE BALNEABILIDADE</b>			
	T90	4,50	horas	Tempo de desaparecimento de 90% de uma população inicial de bactérias
	C	1,00E+07	NMP/100ml	Densidade de coliformes fecais típica do esgoto bruto
	Co	1,00E+03	NMP/100ml	Padrão satisfatório de balneabilidade
	Zp	300	m	Zona de balneabilidade ou proteção
<b>1.6</b>	<b>ESTIMATIVA DO COMPRIMENTO DO EMISSÁRIO</b>			
	L	3100	m	Comprimento estimado/desejado do emissário
	$L_{total} = L + Zp$			
	Ltotal	3400	m	Comprimento total do emissário
<b>1.7</b>	<b>CÁLCULO DO DIÂMETRO DO EMISSÁRIO</b>			
	Vmax	2,50	m/s	Velocidade máxima do fluxo (adotada)
	$D = \sqrt{(4 * Q_{max}) / (\pi * V_{max})}$			
	De	173	mm	Diâmetro externo do emissário
	Dadotado	180	mm	Diâmetro comercial do emissário


1.8	CÁLCULO DA ESPESSURA E SDR DO TUBO			
Dadotado	180	mm	Diâmetro comercial do emissário	
p	1,00	MPa	Pressão nominal	
σ	10,00	MPa	Tensão de projeto em 50 anos	
$s = (p \cdot \text{Dadotado}) / (2 \cdot \sigma + p)$				
s	8,57	mm	Espessura do tubo PE100	
SDR = Dadotado/s				
SDR	21	adimensional	Relação diâmetro externo e espessura	
1.9	CÁLCULO DO DIFUSOR			
Considerações: -> Área dos orifícios = 33 a 66% da área transversal da tubulação do emissário -> Espaçamento = 1/5 a 1/10 da altura da pluma -> d = 7 a 10 cm -> V = 0,9 a 3 m/s -> Qu = 11 L/(s.m)				
Di	163	mm	Diâmetro interno do emissário	
Ai	0,02	m <sup>2</sup>	Área da seção transversal do diâmetro interno	
ΣAi	0,01	m <sup>2</sup>	66% da área da seção transversal do diâmetro interno	
d	100	mm	Diâmetro adotado do orifício	
a	0,01	m <sup>2</sup>	Área da seção transversal do diâmetro do orifício	
Ndif	3	adimensional	Quantidade de saídas/difusores	
E = H/5				
H	26	m	Altura da coluna de água no campo de mistura	
E	5,20	m	Espaçamento entre difusores	
Ldif = (N-1)*E				
Ldif	11	m	Comprimento total do espaçamento entre os difusores	
Qu = Qmax/(Ndif*Ldif)				
Qu	1,77	L/(s.m)	Vazão unitária (< 11, ok)	
1.10	CÁLCULO DA DILUIÇÃO INICIAL			
q	0,00530	m <sup>2</sup> /s	Fluxo de vazão	
m = v*q				
m	0,00265	m <sup>3</sup> /s <sup>2</sup>	Fluxo de momento	
$g'o = g \cdot (p_a - p_o) / p_a$				
g	9,81	m/s <sup>2</sup>	Aceleração da gravidade local	
pa	1024,5	kg/m <sup>3</sup>	Massa específica do corpo receptor	
po	997	kg/m <sup>3</sup>	Massa específica do efluente	
g'o	0,26	m/s <sup>2</sup>	Aceleração da gravidade modificada	
$N = ((g/pa) \cdot (dp/dz))^{1/2}$				

	df	1,0235	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	Massa específica da água do fundo
	ds	1,0245	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	Massa específica da água da superfície
	dp	0,0010	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	Diferença entre a massa específica da água da superfície e do fundo
	N	0,0295	<b>adimensional</b>	Frequência de boiância
			$b = g'o*q$	
	b	0,00140	<b>m<sup>3</sup>/s<sup>3</sup></b>	Fluxo de boiância
			$F = v^3/b$	
	F	89,55	<b>adimensional</b>	Número de Froude-Roberts
			$D1 = (Di*b^{(2/3)})/(q*N)$	
	Di	3,50	<b>adimensional</b>	Valor da relação empírica
	D1	279,51	<b>adimensional</b>	Diluição inicial mínima
<b>1.11</b>	<b>DETERMINAÇÃO DA DISPERSÃO HORIZONTAL</b>			
	L	3100	<b>m</b>	Comprimento estimado/desejado do emissário
	v	30,00	<b>m/min</b>	Velocidade mínima da corrente no ponto de implantação
	Ldif	11,00	<b>m</b>	Comprimento total do espaçamento entre os difusores
	D2	10,00	<b>adimensional</b>	Dispersão horizontal
<b>1.12</b>	<b>DETERMINAÇÃO DO DECAIMENTO BACTERIANO</b>			
	T	1,72	<b>horas</b>	Tempo de deslocamento do campo do efluente até a área a proteger
			$D3 = 10^{(T/T90)}$	
	D3	2,41	<b>adimensional</b>	Decaimento bacteriano
<b>1.13</b>	<b>REDUÇÃO TOTAL DA DENSIDADE DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES</b>			
	D1	279,51	<b>adimensional</b>	Diluição inicial mínima
	D2	10,00	<b>adimensional</b>	Dispersão horizontal
	D3	2,41	<b>adimensional</b>	Decaimento bacteriano
			$Rt = D1*D2*D3$	
	Rt	6747	<b>adimensional</b>	Redução total de coliformes
			$Rn = (0,6*C)/Co$	
	Rn	6000	<b>adimensional</b>	Redução necessária de coliformes
	Se $Rt \geq Rn$ , comprimento determinado do emissário está atendendo			

<b>Pré-projeto: Emissário subfluvial de Santana - EM4</b> <b>Instituição: Universidade Federal do Amapá</b> <b>Data: Agosto/2023</b>		 <b>UNIFAP</b> Universidade Federal do Amapá		
<b>1</b>	<b>DIMENSIONAMENTO - EMISSÁRIO SUBFLUVIAL - EM4 (T. PRELIMINAR)</b>			
<b>1.1</b>	<b>ESTIMATIVA POPULACIONAL (MÉTODO GEOMÉTRICO)</b>			
	<b>DADO</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDADE</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
	P1	107373	<b>hab</b>	População no ano de 2022
	P0	101262	<b>hab</b>	População no ano de 2010
	t1	2022	<b>ano</b>	Ano do último censo
	t0	2010	<b>ano</b>	Ano do penúltimo censo
			$Kg = (\ln P1 - \ln P0) / (t1 - t0)$	
	Kg	0,0049	<b>hab/ano</b>	Taxa constante
			$P = P1 * e^{(Kg * (t - t1))}$	
	P	118388	<b>hab</b>	População estimada em 20 anos
<b>1.2</b>	<b>VAZÃO DE PROJETO</b>			
	q	300	<b>(L*dia)/hab</b>	Consumo de água per capita
	Cr	0,8	<b>adimensional</b>	Coefficiente de retorno
	K1	1,2	<b>adimensional</b>	Coefficiente de máxima vazão diária
	K2	1,5	<b>adimensional</b>	Coefficiente de máxima vazão horária
			$Q = (P * q * Cr * K1 * K2) / 86400$	
	Q	0,59	<b>m³/s</b>	Vazão de esgoto máxima estimada
<b>1.4</b>	<b>CORRENTE DE PROJETO</b>			
	v	0,50	<b>m/s</b>	Velocidade média da corrente no ponto de implantação
<b>1.5</b>	<b>TAXA DE DECAIMENTO BACTERIANO E ZONA DE BALNEABILIDADE</b>			
	T90	4,50	<b>horas</b>	Tempo de desaparecimento de 90% de uma população inicial de bactérias
	C	1,00E+07	<b>NMP/100ml</b>	Densidade de coliformes fecais típica do esgoto bruto
	Co	1,00E+03	<b>NMP/100ml</b>	Padrão satisfatório de balneabilidade
	Zp	300	<b>m</b>	Zona de balneabilidade ou proteção
<b>1.6</b>	<b>ESTIMATIVA DO COMPRIMENTO DO EMISSÁRIO</b>			
	L	5200	<b>m</b>	Comprimento estimado/desejado do emissário
			$L_{total} = L + Zp$	
	Ltotal	5500	<b>m</b>	Comprimento total do emissário
<b>1.7</b>	<b>CÁLCULO DO DIÂMETRO DO EMISSÁRIO</b>			
	Vmax	2,50	<b>m/s</b>	Velocidade máxima do fluxo (adotada)
			$D = \sqrt{(4 * Q_{max}) / (\pi * V_{max})}$	
	De	550	<b>mm</b>	Diâmetro externo do emissário
	Dadotado	630	<b>mm</b>	Diâmetro comercial do emissário
<b>1.8</b>	<b>CÁLCULO DA ESPESSURA E SDR DO TUBO</b>			

	Dadotado	630	mm	Diâmetro comercial do emissário
	p	1,00	MPa	Pressão nominal
	$\sigma$	10,00	MPa	Tensão de projeto em 50 anos
				$s = (p \cdot \text{Dadotado}) / (2 \cdot \sigma + p)$
	s	30,00	mm	Espessura do tubo PE100
				$\text{SDR} = \text{Dadotado} / s$
	SDR	21	adimensional	Relação diâmetro externo e espessura
<b>1.9</b>	<b>CÁLCULO DO DIFUSOR</b>			
	<p>Considerações:</p> <p>-&gt; Área dos orifícios = 33 a 66% da área transversal da tubulação do emissário</p> <p>-&gt; Espaçamento = 1/5 a 1/10 da altura da pluma</p> <p>-&gt; d = 7 a 10 cm</p> <p>-&gt; V = 0,9 a 3 m/s</p> <p>-&gt; Qu = 11 L/(s.m)</p>			
	Di	570	mm	Diâmetro interno do emissário
	Ai	0,26	m <sup>2</sup>	Área da seção transversal do diâmetro interno
	$\sum A_i$	0,17	m <sup>2</sup>	66% da área da seção transversal do diâmetro interno
	d	100	mm	Diâmetro adotado do orifício
	a	0,01	m <sup>2</sup>	Área da seção transversal do diâmetro do orifício
	Ndif	33	adimensional	Quantidade de saídas/difusores
				$E = H/5$
	H	20	m	Altura da coluna de água no campo de mistura
	E	4,00	m	Espaçamento entre difusores
				$L_{dif} = (N-1) \cdot E$
	Ldif	128	m	Comprimento total do espaçamento entre os difusores
				$Q_u = Q_{max} / (N_{dif} \cdot L_{dif})$
	Qu	0,14	L/(s.m)	Vazão unitária (< 11, ok)
<b>1.10</b>	<b>CÁLCULO DA DILUIÇÃO INICIAL</b>			
	q	0,00462	m <sup>2</sup> /s	Fluxo de vazão
				$m = v \cdot q$
	m	0,00231	m <sup>3</sup> /s <sup>2</sup>	Fluxo de momento
				$g'_{o} = g \cdot (p_a - p_o) / p_a$
	g	9,81	m/s <sup>2</sup>	Aceleração da gravidade local
	p <sub>a</sub>	1024,5	kg/m <sup>3</sup>	Massa específica do corpo receptor
	p <sub>o</sub>	997	kg/m <sup>3</sup>	Massa específica do efluente
	g' <sub>o</sub>	0,26	m/s <sup>2</sup>	Aceleração da gravidade modificada
				$N = ((g/p_a) \cdot (dp/dz))^{1/2}$
	df	1,0235	g/cm <sup>3</sup>	Massa específica da água do fundo

	ds	1,0245	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	Massa específica da água da superfície
	dp	0,0010	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	Diferença entre a massa específica da água da superfície e do fundo
	N	0,0086	<b>adimensional</b>	Frequência de boiância
			$b = g' \cdot o \cdot q$	
	b	0,00122	<b>m<sup>3</sup>/s<sup>3</sup></b>	Fluxo de boiância
			$F = v^3/b$	
	F	102,65	<b>adimensional</b>	Número de Froude-Roberts
			$D1 = (Di \cdot b^{2/3}) / (q \cdot N)$	
	Di	3,50	<b>adimensional</b>	Valor da relação empírica
	D1	997,85	<b>adimensional</b>	Diluição inicial mínima
<b>1.11</b>	<b>DETERMINAÇÃO DA DISPERSÃO HORIZONTAL</b>			
	L	5200	<b>m</b>	Comprimento estimado/desejado do emissário
	v	30,00	<b>m/min</b>	Velocidade mínima da corrente no ponto de implantação
	Ldif	128,00	<b>m</b>	Comprimento total do espaçamento entre os difusores
	D2	3,00	<b>adimensional</b>	Dispersão horizontal
<b>1.12</b>	<b>DETERMINAÇÃO DO DECAIMENTO BACTERIANO</b>			
	T	2,89	<b>horas</b>	Tempo de deslocamento do campo do efluente até a área a proteger
			$D3 = 10^{(T/T90)}$	
	D3	4,39	<b>adimensional</b>	Decaimento bacteriano
<b>1.13</b>	<b>REDUÇÃO TOTAL DA DENSIDADE DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES</b>			
	D1	997,85	<b>adimensional</b>	Diluição inicial mínima
	D2	3,00	<b>adimensional</b>	Dispersão horizontal
	D3	4,39	<b>adimensional</b>	Decaimento bacteriano
			$Rt = D1 \cdot D2 \cdot D3$	
	Rt	13127	<b>adimensional</b>	Redução total de coliformes
			$Rn = C/Co$	
	Rn	10000	<b>adimensional</b>	Redução necessária de coliformes
	Se $Rt \geq Rn$ , comprimento determinado do emissário está atendendo			

Pré-projeto: Emissário subfluvial de Santana - EM4 Instituição: Universidade Federal do Amapá Data: Agosto/2023		 <b>UNIFAP</b> Universidade Federal do Amapá		
<b>1</b>	<b>DIMENSIONAMENTO - EMISSÁRIO SUBFLUVIAL - EM4 (T. PRIMÁRIO)</b>			
<b>1.1</b>	<b>ESTIMATIVA POPULACIONAL (MÉTODO GEOMÉTRICO)</b>			
	<b>DADO</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDADE</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
	P1	107373	<b>hab</b>	População no ano de 2022
	P0	101262	<b>hab</b>	População no ano de 2010
	t1	2022	<b>ano</b>	Ano do último censo
	t0	2010	<b>ano</b>	Ano do penúltimo censo
			$Kg = (\ln P1 - \ln P0) / (t1 - t0)$	
	Kg	0,0049	<b>hab/ano</b>	Taxa constante
			$P = P1 * e^{(Kg * (t - t1))}$	
	P	118388	<b>hab</b>	População estimada em 20 anos
<b>1.2</b>	<b>VAZÃO DE PROJETO</b>			
	q	300	<b>(L*dia)/hab</b>	Consumo de água per capita
	Cr	0,8	<b>adimensional</b>	Coefficiente de retorno
	K1	1,2	<b>adimensional</b>	Coefficiente de máxima vazão diária
	K2	1,5	<b>adimensional</b>	Coefficiente de máxima vazão horária
			$Q = (P * q * Cr * K1 * K2) / 86400$	
	Q	0,59	<b>m³/s</b>	Vazão de esgoto máxima estimada
<b>1.4</b>	<b>CORRENTE DE PROJETO</b>			
	v	0,50	<b>m/s</b>	Velocidade média da corrente no ponto de implantação
<b>1.5</b>	<b>TAXA DE DECAIMENTO BACTERIANO E ZONA DE BALNEABILIDADE</b>			
	T90	4,50	<b>horas</b>	Tempo de desaparecimento de 90% de uma população inicial de bactérias
	C	1,00E+07	<b>NMP/100ml</b>	Densidade de coliformes fecais típica do esgoto bruto
	Co	1,00E+03	<b>NMP/100ml</b>	Padrão satisfatório de balneabilidade
	Zp	300	<b>m</b>	Zona de balneabilidade ou proteção
<b>1.6</b>	<b>ESTIMATIVA DO COMPRIMENTO DO EMISSÁRIO</b>			
	L	2700	<b>m</b>	Comprimento estimado/desejado do emissário
			$L_{total} = L + Zp$	
	Ltotal	3000	<b>m</b>	Comprimento total do emissário
<b>1.7</b>	<b>CÁLCULO DO DIÂMETRO DO EMISSÁRIO</b>			
	Vmax	2,50	<b>m/s</b>	Velocidade máxima do fluxo (adotada)
			$D = \sqrt{((4 * Q_{max}) / (\pi * V_{max}))}$	
	De	550	<b>mm</b>	Diâmetro externo do emissário
	Dadotado	630	<b>mm</b>	Diâmetro comercial do emissário
<b>1.8</b>	<b>CÁLCULO DA ESPESSURA E SDR DO TUBO</b>			

	Dadotado	630	mm	Diâmetro comercial do emissário
	p	1,00	MPa	Pressão nominal
	$\sigma$	10,00	MPa	Tensão de projeto em 50 anos
				$s = (p \cdot \text{Dadotado}) / (2 \cdot \sigma + p)$
	s	30,00	mm	Espessura do tubo PE100
				$\text{SDR} = \text{Dadotado} / s$
	SDR	21	adimensional	Relação diâmetro externo e espessura
<b>1.9</b>	<b>CÁLCULO DO DIFUSOR</b>			
	<p>Considerações:</p> <p>-&gt; Área dos orifícios = 33 a 66% da área transversal da tubulação do emissário</p> <p>-&gt; Espaçamento = 1/5 a 1/10 da altura da pluma</p> <p>-&gt; d = 7 a 10 cm</p> <p>-&gt; V = 0,9 a 3 m/s</p> <p>-&gt; Qu = 11 L/(s.m)</p>			
	Di	570	mm	Diâmetro interno do emissário
	Ai	0,26	m <sup>2</sup>	Área da seção transversal do diâmetro interno
	$\sum A_i$	0,17	m <sup>2</sup>	66% da área da seção transversal do diâmetro interno
	d	100	mm	Diâmetro adotado do orifício
	a	0,01	m <sup>2</sup>	Área da seção transversal do diâmetro do orifício
	Ndif	33	adimensional	Quantidade de saídas/difusores
				$E = H/5$
	H	40	m	Altura da coluna de água no campo de mistura
	E	8,00	m	Espaçamento entre difusores
				$L_{dif} = (N-1) \cdot E$
	Ldif	256	m	Comprimento total do espaçamento entre os difusores
				$Q_u = Q_{max} / (N_{dif} \cdot L_{dif})$
	Qu	0,07	L/(s.m)	Vazão unitária (< 11, ok)
<b>1.10</b>	<b>CÁLCULO DA DILUIÇÃO INICIAL</b>			
	q	0,00231	m <sup>2</sup> /s	Fluxo de vazão
				$m = v \cdot q$
	m	0,00116	m <sup>3</sup> /s <sup>2</sup>	Fluxo de momento
				$g'_{o} = g \cdot (p_a - p_o) / p_a$
	g	9,81	m/s <sup>2</sup>	Aceleração da gravidade local
	p <sub>a</sub>	1024,5	kg/m <sup>3</sup>	Massa específica do corpo receptor
	p <sub>o</sub>	997	kg/m <sup>3</sup>	Massa específica do efluente
	g' <sub>o</sub>	0,26	m/s <sup>2</sup>	Aceleração da gravidade modificada
				$N = ((g/p_a) \cdot (dp/dz))^{1/2}$
	df	1,0235	g/cm <sup>3</sup>	Massa específica da água do fundo

	ds	1,0245	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	Massa específica da água da superfície
	dp	0,0010	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	Diferença entre a massa específica da água da superfície e do fundo
	N	0,0061	<b>adimensional</b>	Frequência de boiância
			$b = g' \cdot o \cdot q$	
	b	0,00061	<b>m<sup>3</sup>/s<sup>3</sup></b>	Fluxo de boiância
			$F = v^3/b$	
	F	205,30	<b>adimensional</b>	Número de Froude-Roberts
			$D1 = (Di \cdot b^{2/3}) / (q \cdot N)$	
	Di	3,50	<b>adimensional</b>	Valor da relação empírica
	D1	1777,96	<b>adimensional</b>	Diluição inicial mínima
<b>1.11</b>	<b>DETERMINAÇÃO DA DISPERSÃO HORIZONTAL</b>			
	L	2700	<b>m</b>	Comprimento estimado/desejado do emissário
	v	30,00	<b>m/min</b>	Velocidade mínima da corrente no ponto de implantação
	Ldif	256,00	<b>m</b>	Comprimento total do espaçamento entre os difusores
	D2	1,70	<b>adimensional</b>	Dispersão horizontal
<b>1.12</b>	<b>DETERMINAÇÃO DO DECAIMENTO BACTERIANO</b>			
	T	1,50	<b>horas</b>	Tempo de deslocamento do campo do efluente até a área a proteger
			$D3 = 10^{(T/T90)}$	
	D3	2,15	<b>adimensional</b>	Decaimento bacteriano
<b>1.13</b>	<b>REDUÇÃO TOTAL DA DENSIDADE DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES</b>			
	D1	1777,96	<b>adimensional</b>	Diluição inicial mínima
	D2	1,70	<b>adimensional</b>	Dispersão horizontal
	D3	2,15	<b>adimensional</b>	Decaimento bacteriano
			$Rt = D1 \cdot D2 \cdot D3$	
	Rt	6512	<b>adimensional</b>	Redução total de coliformes
			$Rn = (0,6 \cdot C) / Co$	
	Rn	6000	<b>adimensional</b>	Redução necessária de coliformes
	Se $Rt \geq Rn$ , comprimento determinado do emissário está atendendo			

## APÊNDICE B – CUSTO DIRETO DE MATERIAL ESTIMADO

Item	Código	Banco	Descrição	Und	Quant.	Valor Unit	Total	Peso (%)	Hab.	C.D.M (R\$/hab)
1			EMISSÁRIO TRATAMENTO PRIMÁRIO - TUBO E DIFUSOR				R\$ 36.469.055,84	100,00 %		
1.1	10473	EMOP	TUBO PEAD PE 80/100, PN-10, FABRICADO CO NFORME ISO 4427, DE=180MM	M	3400	R\$ 247,43	R\$ 841.262,00	2,31 %	11662	74
1.2	1	Próprio	EVR (Elastomer Valve Rubber) Check Valve Di = 5-1/2" - Série CPF	UND	3	R\$ 5.506,97	R\$ 16.520,91	0,05 %		
1.3	10484	EMOP	TUBO PEAD PE 80/100, PN-10, FABRICADO CO NFORME ISO 4427, DE=630MM	M	3000	R\$ 3.067,92	R\$ 9.203.760,00	25,24 %	118388	80
1.4	1	Próprio	EVR (Elastomer Valve Rubber) Check Valve Di = 5-1/2" - Série CPF	UND	33	R\$ 5.506,97	R\$ 181.730,05	0,50 %		
1.5	00044527	SINAPI	TUBO DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE, PEAD, PE-80, DE= 730 MM X 34,1 MM PAREDE, ( SDR 21 - PN 06 ) PARA REDE DE AGUA OU ESGOTO ( NBR 15561)	M	3800	R\$ 2.269,61	R\$ 8.624.518,00	23,65 %	158094	57
1.6	1	Próprio	EVR (Elastomer Valve Rubber) Check Valve Di = 5-1/2" - Série CPF	UND	42	R\$ 5.506,97	R\$ 231.292,79	0,63 %		
1.7	00044525	SINAPI	TUBO DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE, PEAD, PE-80, DE = 900 MM X 34,7 MM PAREDE, ( SDR 26 - PN 05 ) PARA REDE DE AGUA OU ESGOTO ( NBR 15561)	M	3500	R\$ 4.857,43	R\$ 17.001.005,00	46,62 %	296939	59
1.8	1	Próprio	EVR (Elastomer Valve Rubber) Check Valve Di = 5-1/2" - Série CPF	UND	67	R\$ 5.506,97	R\$ 368.967,08	1,01 %		
2			EMISSÁRIO TRATAMENTO PRELIMINAR - TUBO E DIFUSOR				R\$ 56.633.046,84	100,00 %		
2.1	10473	EMOP	TUBO PEAD PE 80/100, PN-10, FABRICADO CO NFORME ISO 4427, DE=180MM	M	4800	R\$ 247,43	R\$ 1.187.664,00	2,10 %	11662	104
2.2	1	Próprio	EVR (Elastomer Valve Rubber) Check Valve Di = 5-1/2" - Série CPF	UND	3	R\$ 5.506,97	R\$ 16.520,91	0,03 %		
2.3	10484	EMOP	TUBO PEAD PE 80/100, PN-10, FABRICADO CO NFORME ISO 4427, DE=630MM	M	5500	R\$ 3.067,92	R\$ 16.873.560,00	29,79 %	118388	145
2.4	1	Próprio	EVR (Elastomer Valve Rubber) Check Valve Di = 5-1/2" - Série CPF	UND	33	R\$ 5.506,97	R\$ 181.730,05	0,32 %		
2.5	00044527	SINAPI	TUBO DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE, PEAD, PE-80, DE= 730 MM X 34,1 MM PAREDE, ( SDR 21 - PN 06 ) PARA REDE DE AGUA OU ESGOTO ( NBR 15561)	M	5300	R\$ 2.269,61	R\$ 12.028.933,00	21,24 %	158094	78
2.6	1	Próprio	EVR (Elastomer Valve Rubber) Check Valve Di = 5-1/2" - Série CPF	UND	42	R\$ 5.506,97	R\$ 231.292,79	0,41 %		
2.7	00044525	SINAPI	TUBO DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE, PEAD, PE-80, DE = 900 MM X 34,7 MM PAREDE, ( SDR 26 - PN 05 ) PARA REDE DE AGUA OU ESGOTO ( NBR 15561)	M	5300	R\$ 4.857,43	R\$ 25.744.379,00	45,46 %	296939	88
2.8	1	Próprio	EVR (Elastomer Valve Rubber) Check Valve Di = 5-1/2" - Série CPF	UND	67	R\$ 5.506,97	R\$ 368.967,08	0,65 %		

### ANEXO A – BATIMETRIA DA ÁREA E EMISSÁRIOS

