



Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Centro de Tecnologia e Ciências
Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação
de Recursos Hídricos

Elisa Barbosa Marra

**Análise temporal de projetos de esgotamento sanitário baseada na
projeção populacional e no índice de qualidade de água para o
município de Barra do Piraí-RJ**

Rio de Janeiro

2023

Elisa Barbosa Marra

Análise temporal de projetos de esgotamento sanitário baseada na projeção populacional e no índice de qualidade de água para o município de Barra do Piraí-RJ

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, Curso de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (PROF-ÁGUA), na Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Regulação e Governança de Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Júlio César da Silva

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a. Roberta de Melo Guedes Alcoforado

Rio de Janeiro

2023

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ/REDE SIRIUS/CTCC

M358 Marra, Elisa Barbosa.
Análise temporal de projetos de esgotamento sanitário baseada na projeção populacional e no índice de qualidade de água para o município de Barra do Piraí-RJ/ Elisa Barbosa Marra. – 2023.
147 f.: il.

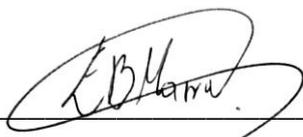
Orientador: Júlio César da Silva.
Coorientadora: Roberta de Melo Guedes Alcoforado.
Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Centro de Tecnologia e Ciências.

1. Saneamento básico – Brasil – Teses. 2. Esgoto sanitário – Brasil – Teses. 3. Índice de qualidade de água – Teses. 4. Recursos hídricos – Barra do Piraí (RJ) – Teses. I. Silva, Júlio César da. II. Alcoforado, Roberta de Melo Guedes. III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Centro de Tecnologia e Ciências. IV. Título.

CDU 628.1(815)

Bibliotecária responsável: Ingrid Pinheiro / CRB-7: 7048

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação, desde que citada a fonte.



Assinatura

Data

Elisa Barbosa Marra

Análise Temporal de Projetos de Esgotamento Sanitário Baseada na Projeção Populacional e no Índice de Qualidade de Água para o Município de Barra do Piraí-RJ

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, Curso de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (PROF-ÁGUA), na Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Regulação e Governança de Recursos Hídricos.

Aprovada em 21 de março de 2023

Banca examinadora:

Prof. Dr. Júlio Cesar da Silva (Orientador)

Faculdade de Engenharia - UERJ

Prof.^a Dr.^a. Roberta de Melo Guedes Alcoforado (Coorientadora)

Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco - UPE

Prof.^a Dr.^a. Cleonice Puggian

Faculdade de Educação da Baixada Fluminense - UERJ

Prof. Dr.^a. Cristiane de Souza Siqueira Pereira

Universidade de Vassouras – Uni Vass

Rio de Janeiro
2023

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me mostrar o caminho do Mestrado Profissional e me proporcionar a parceria em sua forma mais genuína, com meus colegas de turma em meio a uma pandemia.

Ao meu pai Hélio Santos Marra (*in memoriam*) por me educar até onde pode, e à minha mãe Edna Maria Barbosa Marra por insistir na minha educação.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Júlio César da Silva, por topar me orientar e por ter sido um Professor espetacular e à minha coorientadora Prof.^a Dr.^a Roberta Alcoforado, que eu já admirava antes mesmo de ter me “adotado” como sua orientanda.

Aos meus colegas: Marcelo Casiuch, Abmael Junior e André Mendonça que, em vários momentos, também me orientaram e me ajudaram a conduzir da melhor forma esta dissertação.

Às Professoras Dr.^a Cláudia Hamacher e Dr.^a Cleonice Puggian e ao Professor Dr. Francisco Dourado por participarem da minha banca e contribuírem com dicas preciosas.

À minha “orientadora vitalícia” Dr.^a Cristiane Pereira que sempre me auxiliou na minha vida acadêmica.

Ao meu namorado Matheus Aguiar, que esteve e continua presente, em toda minha jornada acadêmica, onde me auxiliou em todos os momentos que precisei.

A todos os colegas e professores do Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (Prof^água) pela convivência, mesmo que de híbrida, por todo apoio conferido.

Agradeço ao meu chefe, Wanderson Luis, da Secretaria Municipal de Água e Esgoto de Barra do Piraí, por ter me incentivado à inscrição neste Mestrado.

Um agradecimento institucional à UERJ, uma das melhores universidades do País, e ao Prof^água pelo apoio técnico científico oferecido, e à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio ao Prof^água aportado até o momento. Ressalto que o presente trabalho foi realizado com o apoio da CAPES – Código de Financiamento 001 e da ANA, através do Projeto CAPES/ANA AUXPE N.º 2717/2015.

Do or do not, there is no try.

Yoda.

RESUMO

MARRA, Elisa Barbosa. **Análise temporal de projetos de esgotamento sanitário baseada na projeção populacional e no índice de qualidade de água para o município de Barra do Piraí-RJ.** 2023. 147 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – PROF-ÁGUA), Centro de Tecnologia e Ciências, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

O Novo Marco Legal do Saneamento Básico, sancionado em 2020 abrange uma série de regulamentações com o objetivo de aprimorar as condições de saneamento básico no Brasil, tais como 90% da população com acesso à coleta de esgoto até 31 de dezembro de 2033 e 99% da população com acesso à água tratada até a mesma data. Desta forma, os gestores e tomadores de decisão de órgãos públicos devem se atentar aos prazos. O Município de Barra do Piraí possui área territorial de 578,47 km² e está localizado na região do Médio Paraíba, onde a população em 2021 era de 101.139 mil habitantes. Apesar da água em abundância na cidade, seus rios sofrem com a poluição direta em toda extensão, por meio do despejo de esgoto sanitário *in natura*. A Prefeitura possui em seus arquivos projetos básicos de esgotamento sanitário, onde somente um foi construído no distrito da Califórnia da Barra e se encontra inoperante. O primeiro item a ser observado em projetos de saneamento, é a projeção populacional, pois delimita um horizonte de estudo e possibilita as projeções de vazão de estações de esgoto, rede, entre outros. A projeção é importante para que o projeto seja válido por longos anos seguindo a taxa de crescimento populacional, porém, não pode ser superdimensionada, para que não onere os cofres públicos sem razão para tal. Portanto, o objetivo do trabalho foi avaliar projetos de esgotamento sanitário já existentes para verificar a metodologia utilizada para projeção populacional, comparar com a população atual com a projeção da época do projeto entregue, além de apresentar dados como quantidade de esgoto gerado e a comparação com as vazões máximas de projeto. O cálculo do índice de qualidade de água CCME foi apresentado como demonstração da qualidade de água do rio. Para a projeção foram utilizados os métodos: geométrico, AiBi, Aritmético, Potência, Exponencial e Polinomial e comparados com a taxa de crescimento populacional da cidade para a determinação do melhor método. Foi calculado o índice de qualidade de água CCME utilizando a calculadora disponibilizada pelo próprio comitê Canadense e para o embasamento da quantidade de esgoto gerado em relação à quantidade que poderia ser tratada, foi calculada a estimativa *per capita* do consumo de água considerando o coeficiente de retorno de 0,8. A água se encontra em declínio de qualidade e os projetos ainda atendem para o que foram especificados, porém, existe a necessidade de reavaliar a projeção utilizada para o método AiBi, tendo em vista que foi o que melhor se adequou à taxa de crescimento populacional de Barra do Piraí. Desta forma, a Prefeitura pode reconsiderar estes projetos, antes arquivados, como alternativas para a universalização do tratamento de esgoto sanitário, de forma que seja um primeiro passo para que projetos similares sejam viabilizados para o atendimento de toda a população barrensense.

Palavras-chave: ETEs. Poluição de rios. Universalização do Esgotamento Sanitário

ABSTRACT

MARRA, Elisa Barbosa. *Temporal analysis of sanitary sewage projects based on population projection and water quality index for the municipality of Barra do Piraí-RJ*. 2023. 147 p. Dissertação (Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – PROF-ÁGUA), Centro de Tecnologia e Ciências, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

The New Legal Framework for Basic Sanitation, enacted in 2020, covers a series of regulations with the aim of improving basic sanitation conditions in Brazil, such as 90% of the population having access to sewage collection by December 31, 2033 and 99% of the population with access to treated water up to the same date. In this way, managers and decision makers of public bodies must pay attention to deadlines. The Municipality of Barra do Piraí has a territorial area of 578.47 km² and is located in the Middle Paraíba region, where the population in 2021 was 101,139 thousand inhabitants. Despite the abundance of water in the city, its rivers suffer from direct pollution to their fullest extent, through the discharge of sanitary sewage in natura. The City Hall has basic sewage projects in its archives, of which only one was built in the Barra district of California and is currently inoperative. The first item to be observed in sanitation projects is the population projection, as it delimits a study horizon and makes it possible to project the flow of sewage stations, the network, among others. The projection is important for the project to be valid for many years following the population growth rate, however, it cannot be oversized, so that it does not burden the public coffers without reason. Therefore, the objective of the work was to evaluate existing sewage projects to verify the methodology used for population projection, compare with the current population with the projection at the time of the project delivered, in addition to presenting data such as the amount of sewage generated and the comparison with the maximum design flows. The calculation of the CCME water quality index was presented as a demonstration of the water quality of the river. For the projection, the following methods were used: geometric, AiBi, Arithmetic, Power, Exponential and Polynomial and compared with the population growth rate of the city to determine the best method. The CCME water quality index was calculated using the calculator provided by the Canadian committee itself and to base the amount of sewage generated in relation to the amount that could be treated, the per capita estimate of water consumption was calculated considering the return coefficient of 0.8. The water quality is in decline and the projects still meet what they were specified, however, there is a need to reassess the projection used for the AiBi method, considering that it was the one that best suited the population growth rate of Barra do Piraí. In this way, the City Hall can reconsider these previously shelved projects, as alternatives for the universalization of sanitary sewage treatment, so that it is a first step for similar projects to be made feasible to serve the entire population of Barrense.

Keywords: ETEs. Pollution of rivers. Universalization of Sanitary Sewage

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Localização do município de Barra do Piraí, em destaque, no estado do Rio de Janeiro.....	20
Figura 2 –	Localização do município de Barra do Piraí em relação aos seus municípios limítrofes.....	21
Figura 3 –	Representação da distribuição do município de Barra do Piraí na RH II – dos rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim (vermelho) - e RH III - do Médio Paraíba do Sul (cinza).....	22
Figura 4 –	Delimitações dos distritos (amarelo) e áreas dos projetos (verde) que serão estudados e representação das Regiões Hidrográficas em Barra do Piraí.....	23
Figura 5 –	Foz do rio Piraí próximo ao rio Paraíba do Sul. No centro da cidade de Barra do Piraí, com lançamentos pontuais de esgoto doméstico...	26
Figura 6 –	Gráficos de Evolução do IQANSF-INEA e IQABascarán de 2010 a 2019 em Barra do Piraí.....	27
Figura 7 –	Mapa de evolução do IQANSF-INEA e IQABascarán de 2010 a 2019 em Barra do Piraí.....	28
Figura 8 –	Município de Barra do Piraí com a demarcação dos distritos com projetos elaborados de ETEs.....	31
Figura 9 –	Localidade contemplada com o projeto do distrito sede.....	32
Figura 10 –	Localidade contemplada com o projeto do distrito de Ipiabas.....	34
Figura 11 –	Aumento da imagem para a verificação do lodo no decantador da ETE.....	35
Figura 12 –	Áreas do distrito da Califórnia e do projeto elaborado e construído....	36
Figura 13 –	ETE Califórnia da Barra.....	37
Figura 14 –	ETE Manibra localizada no distrito da Califórnia da Barra.....	38
Figura 15 –	Classes de enquadramento e respectivos usos e qualidade da água doce.....	41
Figura 16 –	Representação geométrica do vetor do IQA-CCME.....	46
Figura 17 –	Percentual do volume de esgotos coletado e tratado em 2020 no Brasil (m ³ /ano).....	52

Figura 18 – Diagnóstico da qualidade das águas na Região Hidrográfica II (dos Rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim) a partir do cálculo IQACCME com dados de monitoramento do INEA no período entre 2014 a 2017.....	53
Figura 19 – Diagnóstico da qualidade das águas na Região Hidrográfica III (Médio Paraíba do Sul) – a partir do cálculo IQACCME com dados de monitoramento do INEA no período entre 2014 a 2017.....	54
Figura 20 – Gráfico utilizado para a criação da fórmula no método geométrico....	62
Figura 21 – Gráfico da função exponencial crescente.....	67
Figura 22 – Gráfico da função exponencial decrescente.....	67
Figura 23 – Organograma das etapas metodológicas deste trabalho.....	74
Figura 24 – Esquema do cálculo do índice de qualidade de água CCME.....	76
Figura 25 – Trecho com os pontos de captação de água bruta e aplicação do cálculo do IQACCME (triângulos).....	77
Figura 26 – Gráficos de Evolução do IQANSF-INEA e IQABascarán de 2010 a 2019 em Barra do Piraí.....	82
Figura 27 – Esquema de parte da cidade de Barra do Piraí com os rios estudados.....	84
Figura 28 – Gráfico da projeção populacional de todo o município de Barra do Piraí segundo os diferentes métodos de projeção populacional adotados no estudo.....	86
Figura 29 – Gráfico da taxa de crescimento populacional de Barra do Piraí.....	87

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação da qualidade de água bruta por meio do IQA-CCME....	29
Quadro 2 – Informações sobre os dados de população e tipos de tratamento apresentadas nos projetos de saneamento em estudo.....	38
Quadro 3 – Classes de enquadramento das águas-doces e usos respectivos.....	42
Quadro 4 – Classes de enquadramento das águas salobras e usos respectivos..	43
Quadro 5 – Classes de enquadramento das águas salinas e usos respectivos....	44
Quadro 6 – Descrição das categorias da qualidade da água conforme IQA – CCME.....	50
Quadro 7 – Resumo de fórmulas de métodos para projetar a população.....	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Frequência de casos de diarreia em Barra do Piraí de 2010 a 2022..	24
Tabela 2 –	Resultado do índice de qualidade de água CCME com suas classificações e valor encontrado entre parênteses.....	81
Tabela 3 –	Análise do horizonte de estudo e as projeções que foram utilizadas.....	85
Tabela 4 –	Dados para o cálculo do consumo per capita de água em 2021 e posterior comparação com a vazão de projeto das ETEs propostas..	88
Tabela 5 –	Projeção de população para a Califórnia da Barra.....	89
Tabela 6 –	Projeção de população do projeto para o distrito sede.....	90
Tabela 7 –	Estimativa da população urbana de Ipiabas.....	90
Tabela 8 –	Dados de volume per capita de água por dia e população projetada utilizados para o cálculo de esgoto gerado.....	91
Tabela 9 –	Resultados para o total de esgoto gerado e tratado por dia em 2021.	91

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
CELADE	Centro Latino-Americano de Demografia
CCME	Canadian Council of Ministers of the Environment
CEDAE	Companhia Estadual de Águas e Esgoto
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
GT	Grupo de Trabalho
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
IQA	Índice de Qualidade de Água
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organizações das Nações Unidas
PMSB	Plano Municipal de Saneamento Básico
PMI	Procedimento de Manifestação de Interesse
PNRH	Plano Nacional de Recursos Hídricos
QPC	Quota Per Capita
RH	Recursos Hídricos
SAAE	Serviço Autônomo de Água e Esgoto
SES	Sistema de Esgotamento Sanitário
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket
UTM	Urchin Tracking Module

LISTA DE SÍMBOLOS

Δ	Delta
Σ	Somatório
Ln	Logarítmo natural
m ³	Metro cúbico
L	Litro

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	15
1	OBJETIVOS	18
1.1	Objetivo geral	18
1.2	Objetivos específicos	18
2	ÁREA DE ESTUDO	19
2.1	Histórico	19
2.2	Localização	20
2.3	Saúde	23
2.4	O esgotamento sanitário na cidade de Barra do Pirai	25
2.5	A qualidade da água do rio Paraíba do Sul no trecho da cidade de Barra do Pirai e região	26
2.6	Projetos de construção de ETEs elaborados para a Prefeitura Municipal de Barra do Pirai	30
2.6.1	<u>Descrição do projeto para o Distrito Sede</u>	31
2.6.2	<u>Descrição de projeto para o Distrito de Ipiabas</u>	33
2.6.3	<u>Descrição do projeto para o Distrito da Califórnia da Barra</u>	34
3	REFERENCIAL TEÓRICO	39
3.1	A política nacional de recursos hídricos	39
3.2	Enquadramento dos corpos d'água	39
3.3	Índice de Qualidade de Água (IQA)	44
3.3.1	<u>IQA CCME</u>	45
3.3.1.1	Composição do IQA - CCME.....	47
3.4	O cenário do esgotamento sanitário no Brasil	51
3.4.1	<u>Esgotamento sanitário nos cenários estadual e regional</u>	52
3.5	Demanda e consumo de água atrelados à geração de esgoto sanitário	55
3.5.1	<u>Método de estimativa de consumo</u>	56
3.5.1.1	Coeficiente de retorno.....	57
3.6	Projeção de população pelo IBGE	58
3.6.1	<u>Setores censitários</u>	60

3.7	Métodos de projeção de população	61
3.7.1	<u>Geométrico</u>	61
3.7.2	<u>AiBi</u>	63
3.7.3	<u>Aritmético</u>	65
3.7.4	<u>Potência</u>	65
3.7.5	<u>Exponencial</u>	66
3.7.6	<u>Polinomial</u>	68
3.8	Relação do aumento da população com a qualidade de rios e mananciais	69
3.9	Projetos para esgotamento sanitário	70
3.10	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e aderência com o tema	71
3.10.1	<u>ODS 6 – Água Potável e Saneamento</u>	72
3.10.2	<u>ODS 9 – Indústria, Inovação e Infraestrutura</u>	72
3.10.3	<u>ODS 3 – Saúde e Bem-estar</u>	73
3.10.4	<u>Aderência dos ODS com o tema</u>	73
4	METODOLOGIA	74
4.1	Qualidade de água de acordo com o IQA CCME	75
4.2	Análises dos projetos e cálculo de projeções de população e consumo de água per capita	77
4.2.1	<u>Análises dos projetos e Cálculo de projeções de população</u>	77
4.2.2	<u>Estimativa per capita do consumo de água potável</u>	79
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	81
5.1	Qualidade de água de acordo com o IQA CCME	81
5.2	Projeção populacional e comparação com os projetos	85
5.3	Cálculo do esgoto gerado por meio da estimativa per capita de água	88
5.4	Discussões sobre os projetos já existentes	92
5.5	Relatório Técnico - Produto da dissertação	93
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	94
	REFERÊNCIAS	96
	APÊNDICE A – Produto da Dissertação: Relatório Técnico	106

INTRODUÇÃO

O município de Barra do Piraí possui área territorial de 578,47 km² e está localizado na região do Médio Paraíba, a população, de acordo com a projeção do IBGE, em 2021, era de 101.139 mil habitantes (IBGE, 2022). A cidade está inserida em duas bacias hidrográficas, sendo em maior parte na Região Hidrográfica III - Médio Paraíba do Sul e uma pequena parte na Região Hidrográfica II – dos Rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim.

A cidade, tem seu esgoto tratado de forma ineficiente e sem monitoramento no único local (Califórnia da Barra) onde existe uma ETE em funcionamento. Os despejos ocorrem de forma pontual em vários locais dos rios Paraíba do Sul e Piraí, principalmente, este último sendo afluente do primeiro. A população, por sua vez, cresce cada vez mais, tornando o volume do esgoto despejado sem tratamento nos corpos hídricos ainda mais devastador.

De acordo com o Instituto Estadual do Ambiente (INEA) o índice de qualidade de água em estações de monitoramento em Barra do Piraí, mais precisamente uma próxima à barragem de Santa Cecília e outra próxima à Estação de Tratamento de Água (ETA) do Bairro Coimbra, vem piorando ao longo do tempo (INEA, 2021). O município conta com 10 ETAs para abastecimento público, sendo destas, 6 captam água no principal manancial que cruza a cidade: o rio Paraíba do Sul. Ao todo, no município, são aproximadamente 237 L/s de água bruta que passa pelo tratamento convencional, ou seja, floculação, decantação, filtração e desinfecção.

O número de internações devido a diarreias em Barra do Piraí no ano de 2016 foi 1,9 para cada 1000 habitantes, já para a cidade de Santos em São Paulo, que era o primeiro colocado no *ranking* do saneamento do Instituto Trata Brasil em 2022, o dado apresentado para a mesma condição em 2016 foi de 0,1 para 1000 habitantes, relacionando assim, a saúde ao saneamento básico.

Com o intuito de universalizar o Saneamento Básico e melhorar a qualidade de vida das pessoas, o Novo Marco Legal foi sancionado através da Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020 (Brasil, 2020), onde abrange uma série de regulamentações com o objetivo de aprimorar as condições de saneamento básico no Brasil, estabelecendo novas metas para universalização do acesso aos serviços de

saneamento, tais como 90% da população com acesso à coleta e tratamento de esgoto até 31 de dezembro de 2033 e 99% da população com acesso à água tratada até a mesma data. Desta forma, os gestores e tomadores de decisão de órgãos públicos devem realizar um planejamento a fim de cumprir as metas no tempo determinado.

Além das metas do Marco do Saneamento, existem os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) que foram estabelecidos pela ONU em 2015 com o objetivo de alcançar um mundo mais justo, igualitário e sustentável até 2030. São compostos por 17 metas interconectadas que abrangem diversas áreas, como erradicação da pobreza, saúde, educação, igualdade de gênero, energia limpa, inovação, entre outras. Os ODS 6, 9 e 3, relacionados a este trabalho, são objetivos específicos que visam melhorar a qualidade de vida das pessoas em áreas chave, como acesso à água potável, infraestruturas resilientes, promoção da industrialização inclusiva e sustentável, saúde e bem-estar. Esses objetivos são fundamentais para garantir uma sociedade mais justa e sustentável, que proporcione um futuro melhor para todos. A importância dos ODS está em sua capacidade de unir países, organizações e indivíduos em prol de um objetivo comum e universal, ajudando a reduzir a desigualdade social e promovendo um desenvolvimento sustentável e equilibrado para o planeta (BARBADO e LEAL, 2021).

Alguns órgãos ao nível Federal e Estadual realizam a abertura de editais de financiamento para projetos de saneamento com a finalidade de que as cidades participem. Um dos objetivos desses editais é a viabilidade de construção de Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) por meio de elaboração de projetos (básicos e executivos) por intermédio de empresas terceirizadas. Desta forma, Barra do Piraí já foi contemplada com pelo menos três projetos deste tipo, no entanto, somente um deles chegou na fase de construção, mas opera de forma ineficiente ou inexistente.

Um dos principais itens nestes projetos de saneamento é a projeção populacional e a escolha do método para a melhor curva que se adapta à realidade daquela localidade. Quando a Prefeitura ou outro órgão público tem em mãos estes tipos de projetos, podem participar de outros editais para fins da construção, porém, um empecilho encontrado é o superdimensionamento das ETEs e redes por conta da metodologia de crescimento populacional escolhida. Além de onerar os cofres

públicos, muitos projetos ficam arquivados por conta do tamanho do investimento a ser realizado.

O Plano Municipal de Saneamento Básico do município de Barra do Piraí foi lançado em 2015 e desde então, novas avaliações para a verificação do cenário do saneamento básico da cidade não foram feitas.

Portanto, o objetivo do trabalho é avaliar projetos de esgotamento sanitário já existentes de forma que possa ser verificado se a metodologia para a projeção de população nos projetos é adequada, além de comparar com a população atual com a projeção da época do projeto entregue. Como embasamento para a necessidade do tratamento de esgoto na cidade, o resultado do cálculo do índice de qualidade de água CCME será apresentado, para corroborar com a necessidade de proteção a nossos rios quanto à crescente poluição.

1 OBJETIVOS

1.1 Objetivo Geral

Analisar a adequabilidade dos projetos de ETEs para o município de Barra do Piraí face aos cenários de crescimento populacional.

1.2 Objetivos Específicos

- a) Calcular e apresentar o índice de qualidade de água utilizando a metodologia do Índice de Qualidade de Água Canadense (CCME) para o município de Barra do Piraí;
- b) Analisar o horizonte de estudo e as projeções populacionais que foram utilizadas em cada projeto de ETE para o município de Barra do Piraí;
- c) Calcular projeções de população em diferentes métodos e o consumo de água per capita nas regiões abrangentes pelos projetos;
- d) Comparar os cálculos realizados das projeções populacionais com os cálculos apresentados nos projetos de esgotamento sanitário expostos;
- e) Elaborar um relatório técnico com os resultados dos cálculos realizados.

2 ÁREA DE ESTUDO

2.1 Histórico

Barra do Piraí foi povoada inicialmente em terras de sesmarias doadas no ano de 1761 nas margens direita e esquerda do rio Piraí, em seu encontro com o rio Paraíba do Sul (IBGE, 2017).

Os primeiros colonizadores foram membros das famílias Faro e Pereira da Silva. Grandes senhores de escravos, dedicaram-se à agricultura e, rapidamente, dominaram a região cafeeira, serra acima (IBGE, 2017).

Em 1853 as terras sesmarias ficaram interligadas pela ponte que o comendador Gonçalves Morais mandara construir. Neste tempo, na margem oposta do rio Paraíba do Sul, os comendadores João Pereira da Silva e José Pereira de Faro, futuro barão do Rio Bonito, erguiam o povoado de Santana (PMBP, 2015).

O rápido desenvolvimento do lugarejo, onde aconteciam grandes transações comerciais, favoreceu a instalação de uma estação da Estrada de Ferro Central do Brasil, a 7 de agosto de 1864. Em seguida iniciou-se a construção dos ramais, mineiro e paulista (PMBP, Op. Cit.).

Em 10 de março de 1890 aconteceu a independência política e administrativa do município de Barra do Piraí. Como primeiro município no estado do Rio de Janeiro, criado no regime republicano, a instalação foi prestigiada pelo Governador Francisco Portella (PMBP, 2015).

De acordo com o Plano Municipal de Saneamento Básico de Barra do Piraí (PMPB, 2015), o município é constituído dos seguintes distritos: distrito Sede, Ipiabas, Califórnia da Barra, Vargem Alegre, São José do Turvo e Dorândia, já em relação aos bairros, são eles: Ponte do Andrade, Ponte Vermelha, Roseira, Boca do Mato, Chalet, Santana de Barra, Parque Santana, Carbocálcio, Caeira São Pedro, Química, São Joaquim, Grota Funda, São Luis, Vila Helena, Maracanã, Muqueca, São João, Caixa D'água Velha, Represa, Novo México, Morro do Paraíso, Morro do Gama, Ponte Preta, Lago Azul, Asa Branca, Campo Bom, Oficinas Velhas, Metalúrgica, Vila Suíça, Chácara Farani, Centro, Belvedere, Dr. Mesquita, Nossa Senhora Santana, Matadouro, Chaminé, S. Antônio, Arthur Cataldi, Areal, Boa Sorte,

Santa Cecília, Manibra, Santa Terezinha, São Francisco, Cerâmica União, Morada do Vale, Recanto Feliz, Fátima, Vargem Grande, Carvão e Santo Cristo.

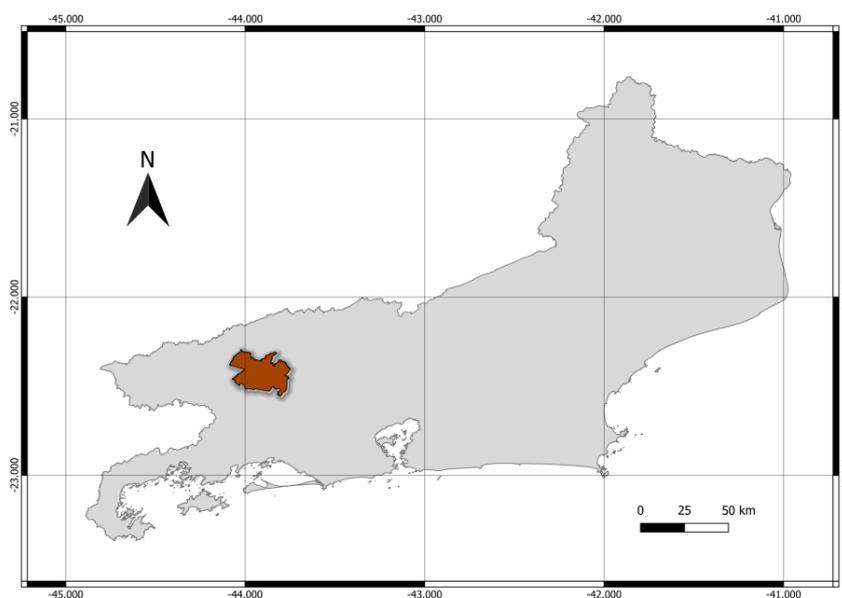
2.2 Localização

A cidade de Barra do Piraí está localizada na Região do Médio Paraíba (Figura 12), com uma área total de 578,47 km², correspondente a 9,4% da área da região onde está inserida (TCE, 2018).

Em 2021, a população estimada pelo IBGE no município era de 101.139 habitantes (IBGE, 2021). No censo demográfico realizado pelo mesmo instituto em 2010, a densidade demográfica era de 163,7 habitantes por km². A taxa de urbanização representava 97% da população. Em comparação com o censo do ano de 2000, a população do município aumentou 7,1%. De acordo com a pesquisa analisada, o município possuía 34.528 domicílios, dos quais 3% eram de uso ocasional (IBGE, 2021).

A Figura 1 mostra a cidade de Barra do Piraí em mapa, com intuito de localização do leitor.

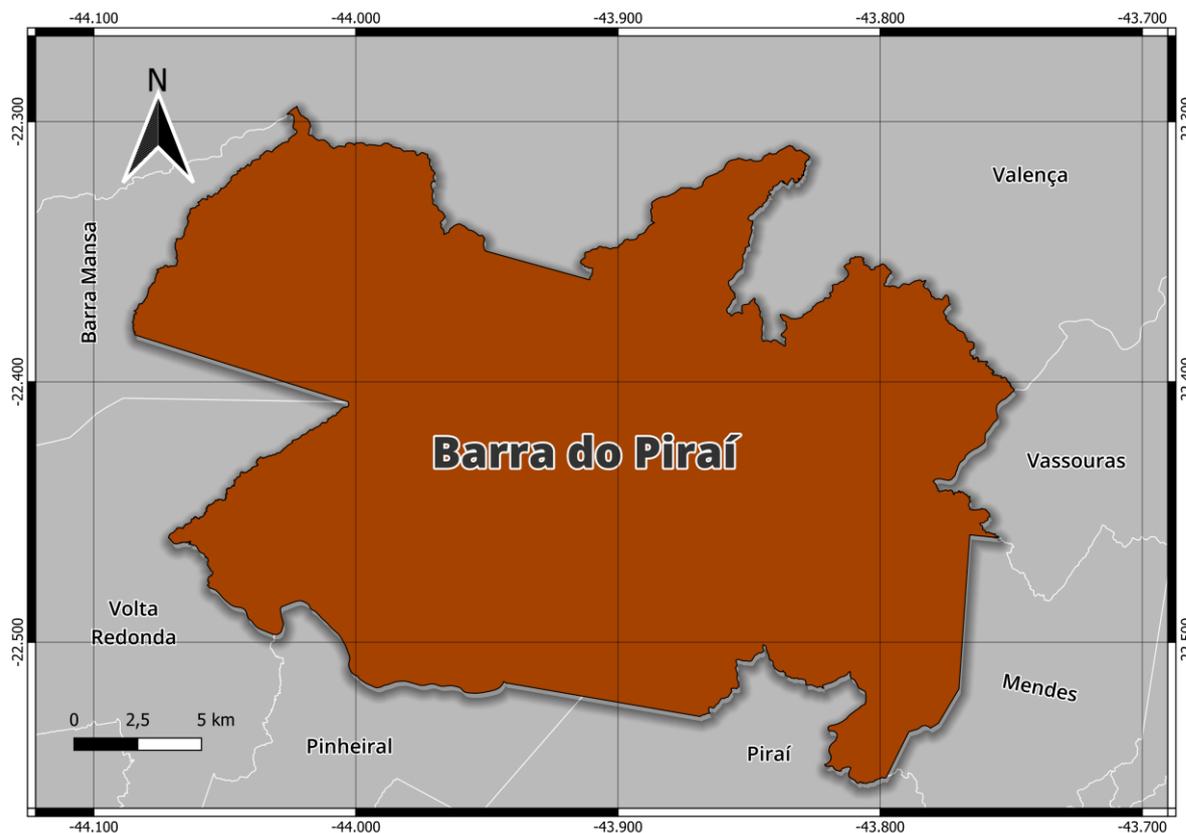
Figura 1 – Localização do município de Barra do Piraí, em destaque, no estado do Rio de Janeiro



Fonte: PMBP, 2022. (Adaptado pela autora)

Os municípios limítrofes de Barra do Pirai são apresentados na Figura 2 a seguir.

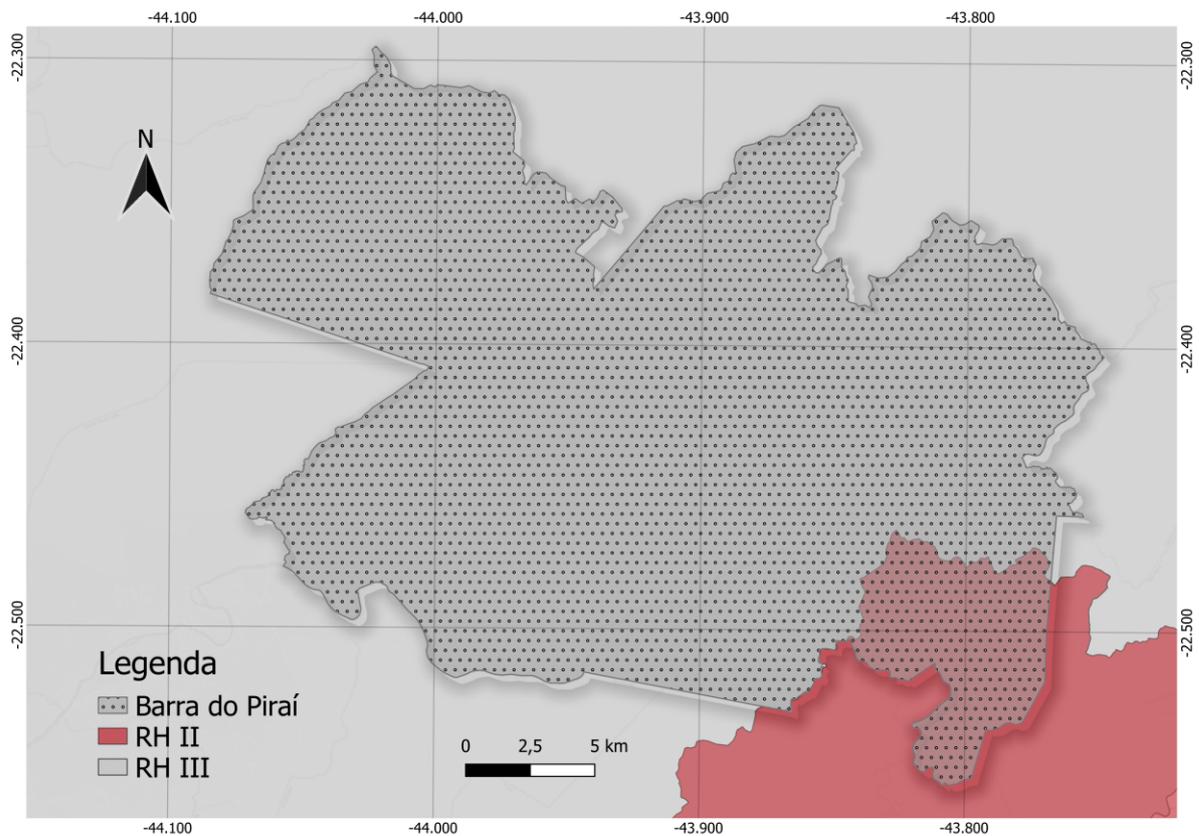
Figura 2 – Localização do município de Barra do Pirai em relação aos seus municípios limítrofes.



Fonte: PMBP, 2015. (Adaptado pela autora)

O acesso se dá pelas rodovias: RJ-137, RJ-145 e a BR-393 (Rodovia Lúcio Meira). Em relação à distância aos grandes centros urbanos, encontra-se a 120 km da cidade do Rio de Janeiro e a cerca de 300 km de São Paulo. O município está inserido em duas bacias hidrográficas, sendo em maior parte na Região Hidrográfica III - Médio Paraíba do Sul, e uma pequena parte na Região Hidrográfica II – dos rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim, conforme evidenciado na Figura 3 (PMBP, 2015).

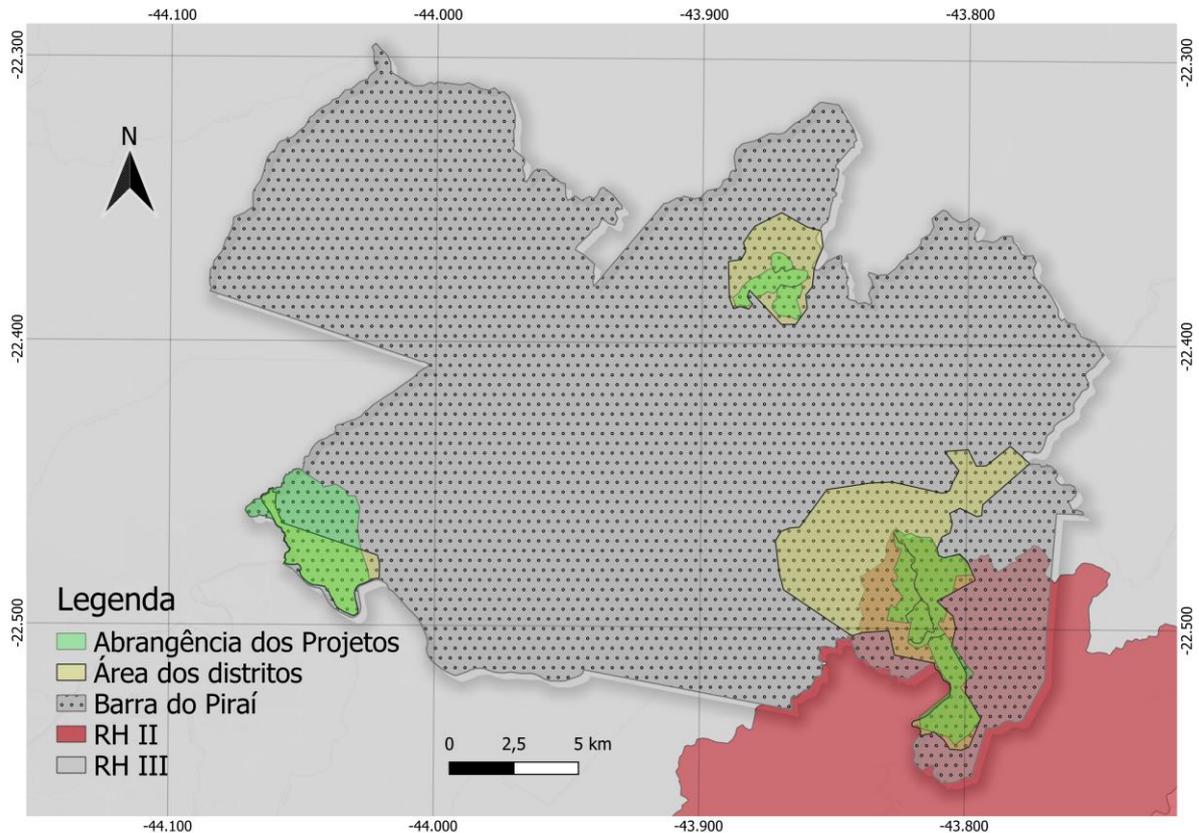
Figura 3 – Representação da distribuição do município de Barra do Pirai na RH II - dos rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim (vermelho) - e RH III - do Médio Paraíba do Sul (cinza)



Fonte: SIGA WEB CEIVAP; SIGA GUANDU, 2022.

A Figura 4 apresenta a delimitação dos projetos e distritos que serão abordados neste trabalho, nas Regiões Hidrográficas apresentadas.

Figura 4 - Delimitações dos distritos (amarelo) e áreas dos projetos (verde) que serão estudados e representação das Regiões Hidrográficas em Barra do Piraí.



Fonte: SIGA WEB CEIVAP; SIGA GUANDU, 2022.

2.3 Saúde

A taxa de mortalidade infantil média na cidade de Barra do Piraí em 2019 era de 12,33 para 1.000 nascidos vivos. A taxa de internações devido a diarreias em 2016 foi 1,9 para cada 1.000 habitantes. Comparando essas taxas com as dos demais municípios do estado do Rio de Janeiro, Barra do Piraí fica nas posições 39 de 92 e 14 de 92, respectivamente. Quando comparada a cidades do Brasil todo, essas posições são de 2243 de 5570 e 1604 de 5570, respectivamente (IBGE, 2019).

A fim de comparação, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2016, apresentou o dado para a internação por diarreia em Santos 0,1 para cada 1.000 habitantes. De acordo com o ranking do saneamento publicado pelo Instituto Trata Brasil em 2022, de modo geral, Santos, em São Paulo, foi considerado o

melhor município em relação aos serviços de água e esgotamento sanitário (TRATA BRASIL, 2022).

A Tabela 1 apresenta a frequência de casos de doença diarreica aguda em Barra do Piraí de 2010 a 2022.

Tabela 1 - Frequência de casos de diarreia em Barra do Piraí de 2010 a 2022

Ano	Número de casos
2010	263
2011	329
2012	825
2013	364
2014	935
2015	785
2016	976
2017	1507
2018	1498
2019	2303
2020	719
2021	642
2022	1281

Fonte: Vigilância Epidemiológica de Barra do Piraí/SIVEP-DDA (2023).

Conforme o Guia de Bolso do Ministério da Saúde sobre doenças infecciosas e parasitárias publicado em 2010, duas das medidas de controle para a diminuição de casos é a melhoria da qualidade da água e o destino adequado de resíduos sólidos e dejetos (Ministério da Saúde, 2010).

Portanto, a doença diarreica aguda pode estar associada às condições do meio em que determinada população está inserida, sendo relacionada até mesmo com as condições de infraestrutura e saneamento tratando-se, portanto, de um importante indicador epidemiológico e ambiental (FLORES *et al.* 2020).

Pachá (2018) destaca também que, de modo geral, as crescentes taxas de doença diarreica aguda têm relação aos meses de maiores índices pluviométricos por conta de a população possivelmente aumentar o consumo de águas não tratadas. Neste período as águas consumidas estão insalubres, devido aos lençóis freáticos superficiais estarem contaminados, sendo assim, a chuva tem o papel de lixiviar toda esta contaminação para poços e nascentes que geralmente são utilizados em várias partes da cidade.

2.4 O Esgotamento Sanitário na cidade de Barra do Piraí

O esgotamento sanitário da cidade de Barra do Piraí tem a operação realizada pela própria Prefeitura, por meio da Secretaria Municipal de Água e Esgoto (SMAE). Segundo o Plano Municipal de Saneamento Básico do município publicado em 2015, o percentual de coleta de esgoto era de 65%, onde, em muitos casos, esta coleta é realizada por coletores mistos em conjunto com a drenagem de água pluvial, onde são direcionados ao corpo receptor sem qualquer tratamento prévio (AEGEA, 2017).

Em 2017, o gestor do município iniciou os trâmites para a concessão dos serviços de água e esgotamento sanitário, onde, em forma de licitação, uma empresa venceria e administraria estes serviços, com o intuito de melhoria do cenário. A partir disto, um Procedimento de Manifestação de Interesse (PMI) foi vencedor, onde demonstrou o diagnóstico dos serviços em pauta na cidade (PMBP, 2018).

Cabe ressaltar que de 2014 a 2017, duas ETEs foram construídas no distrito da Califórnia da Barra, porém, sem monitoramento. (PMBP, 2015; AEGEA, 2017). Desconsiderando o distrito com as ETEs, principalmente no distrito Sede, podem-se verificar diversos pontos de lançamentos pontuais de esgotamento sanitário. Os principais mananciais receptores deste despejo de efluentes in natura no município de Barra do Piraí são os rios Piraí, Paraíba do Sul, Sacra Família, Ipiabas, Turvo e das Flores; os ribeirões das Minhocas, Boa Esperança e do Inferno; e os córregos do Nora, das Flores e do Pocinho (AEGEA, 2017).

A Figura 5 evidencia o lançamento de esgoto no centro da cidade em um dos rios de maior importância da região, o rio Piraí, que é afluente do rio Paraíba do Sul.

Figura 5 – Foz do rio Pirai próximo ao rio Paraíba do Sul. No centro da cidade de Barra do Pirai, com lançamentos pontuais de esgoto doméstico



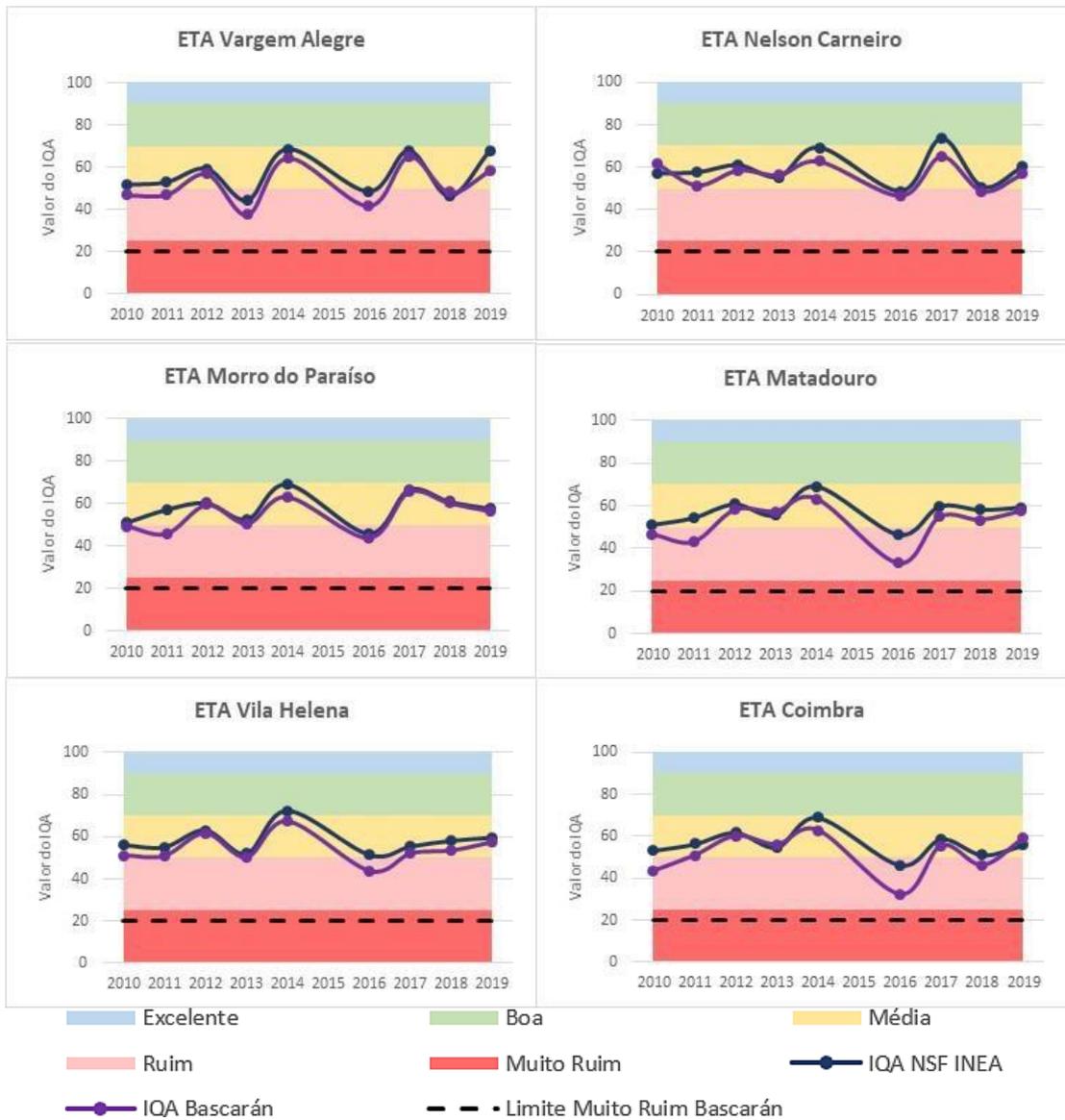
Fonte: A autora, 2022.

2.5 A qualidade da água do rio Paraíba do Sul no trecho da cidade de Barra do Pirai e região

O estudo de Casiuch *et al.* (2021) apresenta a qualidade de água no rio Paraíba do Sul na cidade de Barra do Pirai. O referido trabalho calculou e evidenciou os níveis de poluição a partir da aplicação de dois índices de qualidade de água, Bascarán e IQA NSF-INEA, de 2010 até 2019 por meio de laudos de qualidade de água disponibilizados pela Prefeitura da cidade e Laudos do INEA. Nos pontos analisados acontecem as captações de água e receberam o nome de cada ETA existente na cidade nesse trecho.

A Figura 6 apresenta os gráficos dos resultados dos dois IQAs, segundo o estudo de CASIUCH *et al.*, 2021.

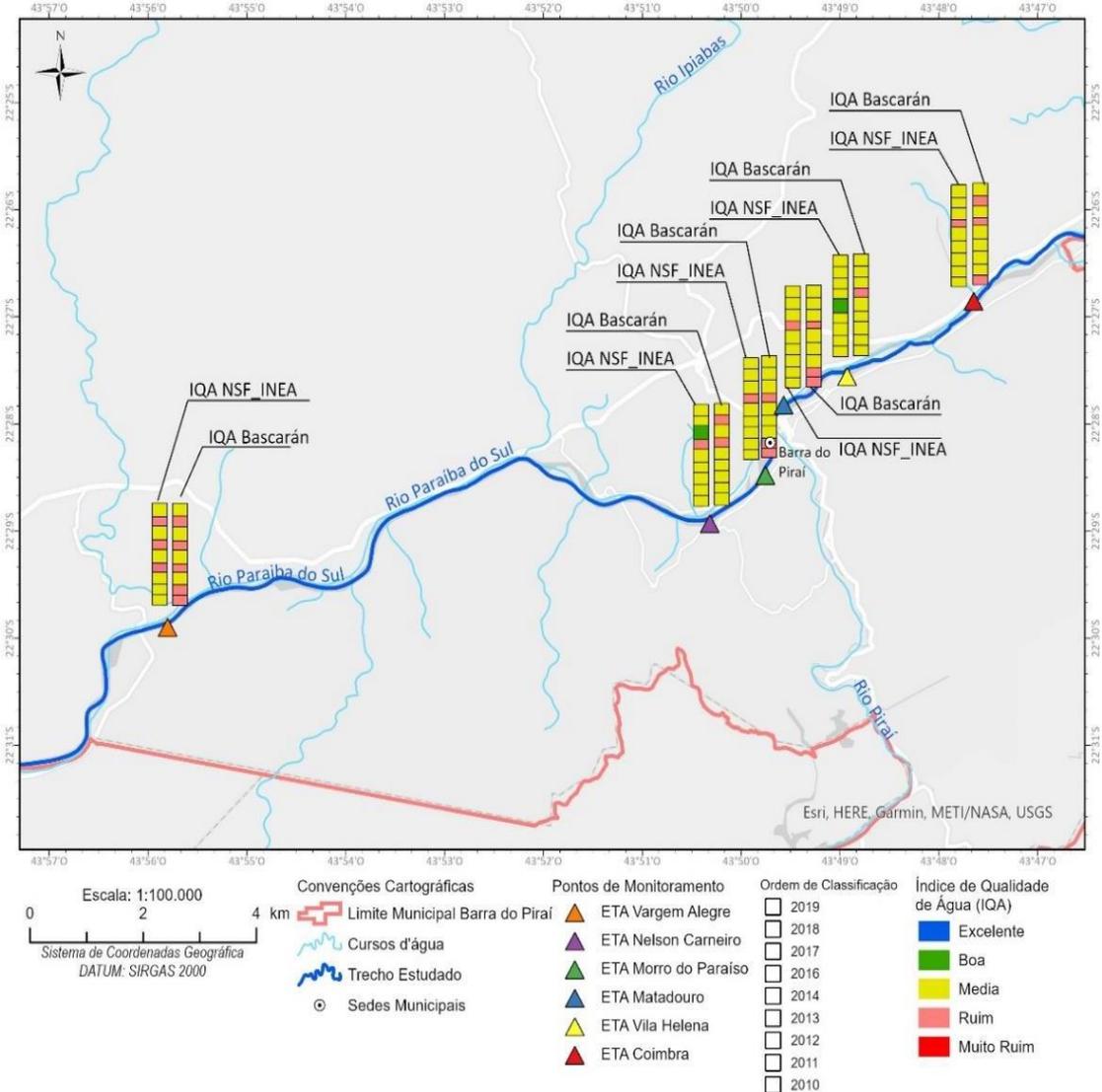
Figura 6 – Gráficos de Evolução do IQA_{NSF-INEA} e IQA_{Bascarán} de 2010 a 2019 em Barra do Pirai



Fonte: CASIUCH *et al.*, 2021.

A Figura 7 apresenta em mapa os resultados calculados para cada índice.

Figura 7 – Mapa de evolução do IQA_{NSF-INEA} e IQA_{Bascarán} de 2010 a 2019 em Barra do Pirai



Fonte: CASIUCH *et al.*, 2021.

A classificação da qualidade da água predominante no trecho investigado é média e, mesmo que esta classificação seja considerada habilitada para o tratamento convencional propiciando o abastecimento público, a tendência é que os níveis de IQA desta região diminuam ao longo do tempo por conta do aumento da população e, conseqüentemente, com aumento do volume de despejo sanitário nos corpos hídricos (CASIUCH *et al.* 2021).

Do ano de 2018 para 2019, por exemplo, novas ligações de esgoto foram construídas em Barra do Pirai, totalizando 157 novas ligações, salientando que, a

quantidade de esgoto coletado também aumentou, com uma diferença de 167.300 m³/ano. Contudo, a cidade ainda continua sem tratamento do esgotamento sanitário (SNIS, 2018-2019).

Azevedo (2021), analisou através do cálculo do índice IQA_{CCME} a qualidade das águas do trecho do rio Paraíba do Sul a montante de Barra do Piraí para o ano de 2020. Os parâmetros analisados no laboratório da concessionária de água e esgoto de Volta Redonda foram: oxigênio dissolvido, temperatura, dureza, cloreto, fluoreto, alcalinidade, bactérias heterotróficas, CO₂ livre, cor, cloro residual, pH, coliformes termotolerantes e turbidez, os parâmetros foram escolhidos de acordo com o que preconiza a legislação vigente. Em relação à concentração de bactérias, o autor determinou uma classificação de acordo com as características biológicas da água.

Os resultados a respeito da água bruta de algumas cidades são demonstrados no Quadro 1 a seguir.

Quadro 1 – Classificação da qualidade de água bruta por meio do IQA-CCME

	Município	Classificação	Concentração Bactérias
1º	Resende	Excelente	Baixa
2º	Porto Real	Bom	Média
3º	Pinheiral	Bom	Média
4º	Barra Mansa	Mediana	Alta
5º	Volta Redonda	Ruim	Alta

Fonte: AZEVEDO, 2021. (Adaptado pela autora)

De acordo com o autor, Volta Redonda é o município que tem a pior água bruta para tratamento na ETA, em relação aos parâmetros patogênicos apesar de possuir algumas ETEs no município (AZEVEDO, 2021).

Ao escrever sobre a universalização do saneamento, Obraczka, *et al.* (2018) demonstram que Barra do Piraí está situada no grupo com menos investimentos nesta área, ou seja, mais atrasado. Com mais de 100 mil habitantes, o município é um dos maiores responsáveis pela geração de esgoto na bacia do rio Paraíba do Sul, além disso, de acordo com o boletim consolidado de qualidade de água emitido pelo INEA em 2020, o IQA médio do rio Paraíba do Sul no município ainda se encontrar na classificação ruim.

2.6 Projetos de construção de ETEs elaborados para a Prefeitura Municipal de Barra do Piraí

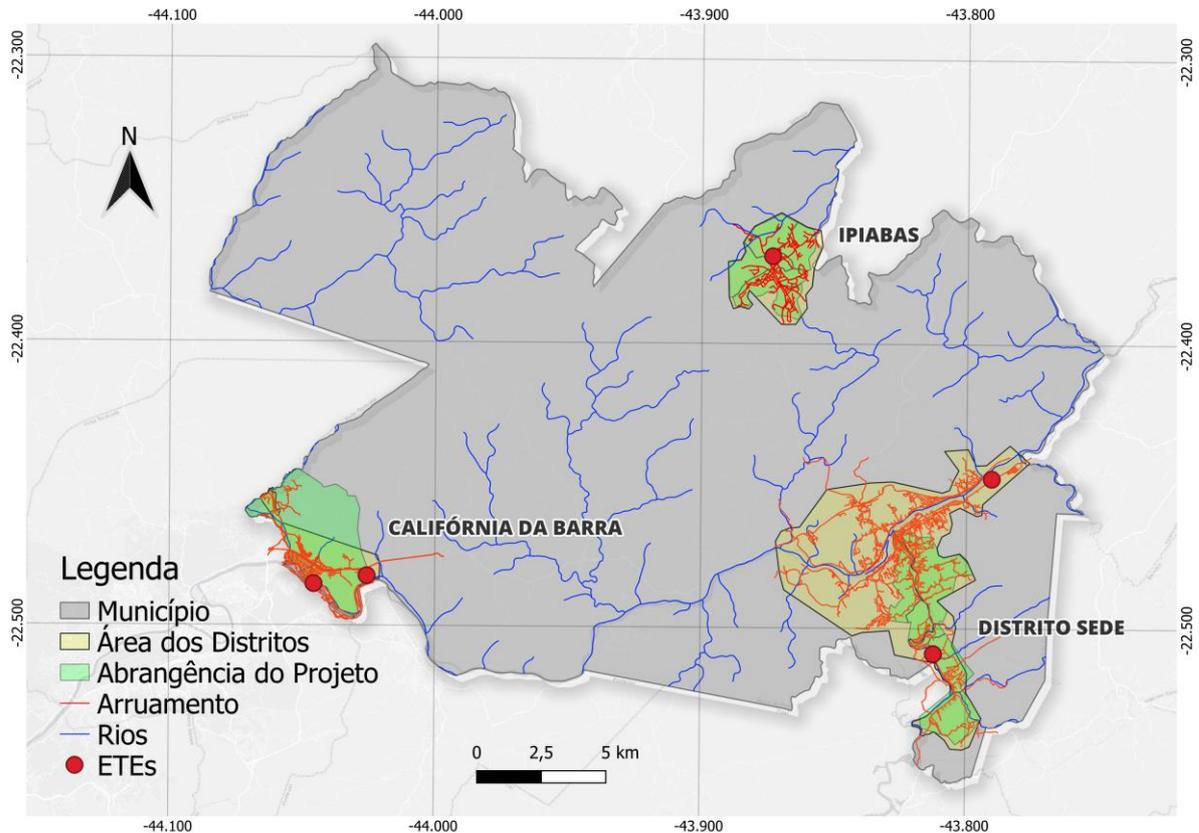
A Prefeitura Municipal de Barra do Piraí (PMBP) já participou de diversos editais com foco no tratamento de esgoto e redução da carga lançada nos rios que atravessam a cidade. A partir de então, este órgão público foi agraciado com projetos de construções de ETEs, tanto para o distrito sede, quanto para outros distritos localizados no município (SMAMB, 2022).

A Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Barra do Piraí (SMMA, 2022) possui em seus arquivos projetos que foram elaborados para a construção de ETEs no município, porém não foram implementados, especialmente por motivos financeiros (contrapartida do município), entre outros.

Em sua totalidade, de acordo com os projetos mais recentes em posse desta secretaria, somente um projeto foi construído e outros dois continuam arquivados. Cabe salientar, que as ETEs concluídas (2 no distrito da Califórnia da Barra) não possuem gestão, digo, licenças, monitoramento, descarte de lodo, etc. (SMAMB, 2022).

A Figura 8 apresenta o mapa da cidade de Barra do Piraí com a demarcação de cada projeto elaborado, em cada distrito.

Figura 8 – Município de Barra do Pirai com a demarcação dos distritos com projetos elaborados de ETEs



Fonte: A autora, 2022.

2.6.1 Descrição do projeto para o Distrito Sede

O distrito sede é composto por 44 bairros, onde, de acordo com o projeto de saneamento elaborado em 2010, a coleta e o tratamento de esgoto abrangeriam 12 bairros.

É no distrito sede que se encontra a maior densidade populacional, ou seja, a maior geração de efluentes que conseqüentemente são lançados in natura em afluentes dos rios Pirai e Paraíba do Sul, ou até mesmo nos próprios rios principais que cruzam a cidade.

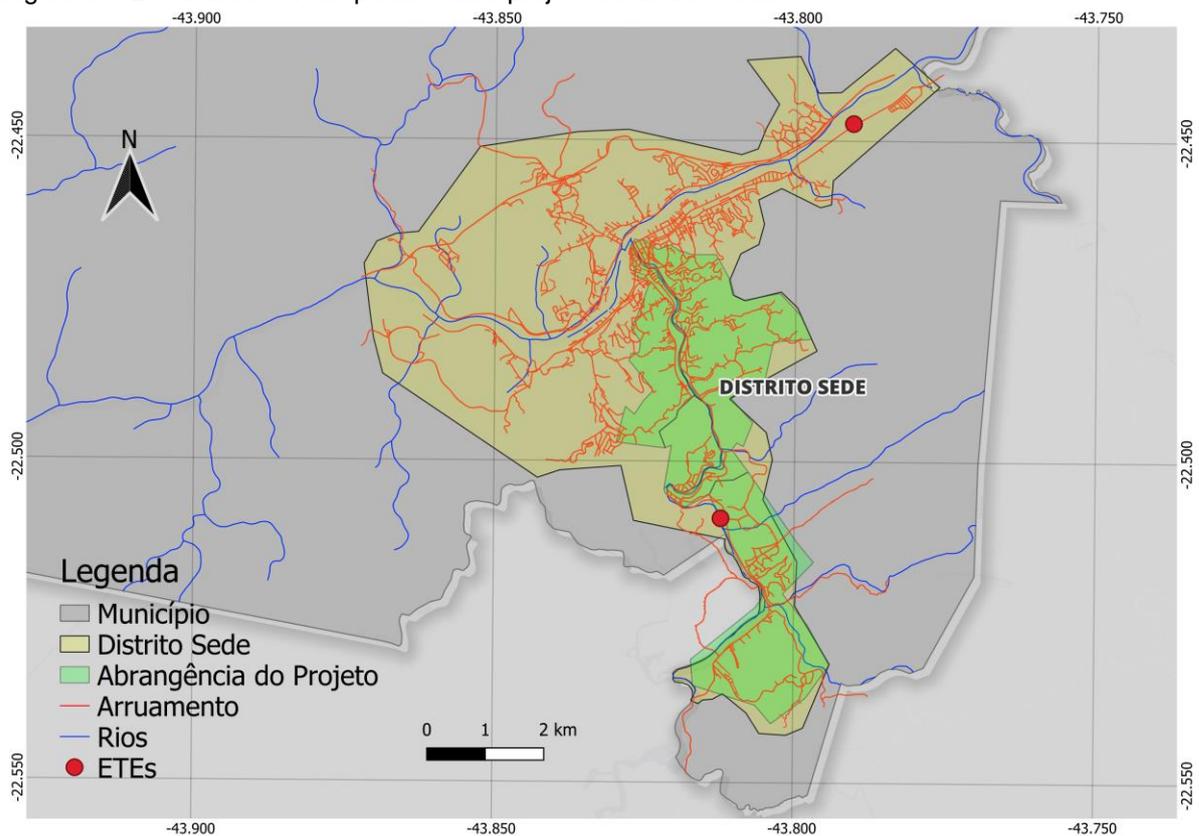
O projeto básico para o saneamento do distrito sede compreende a construção de duas ETEs e abrange os bairros: Chalet, Boca do Mato, Carvão, Areal, Boa Sorte, Morro do Gama, Santo Cristo, Santana de Barra, Vargem Grande, Parque Santana, Ponte Vermelha e Roseira. Propõe o sistema para o tratamento de

esgotamento sanitário, o dimensionamento hidráulico dos coletores troncos, das estações elevatórias, estações de tratamento e demais elementos do projeto, como travessias e elementos acessórios, entre outros.

A ETE compreendida no projeto para o bairro Vila Helena possui vazão de 15 L/s e a do bairro Ponte Vermelha de 47 L/s. Em ambas as ETEs, os sistemas de tratamento propostos foram: UASB (reator anaeróbico de fluxo ascendente) + Filtro aerado submerso + Decantador.

O corpo receptor em destaque neste documento é o rio Piraí, afluente do rio Paraíba do Sul. A Figura 9 apresenta a área do distrito sede (amarelo) e a área contemplada pelo projeto (verde).

Figura 9 – Localidade contemplada com o projeto do distrito sede



Fonte: A autora, 2022.

2.6.2 Descrição do projeto para o Distrito de Ipiabas

O distrito de Ipiabas é conhecido pelo turismo e localizado apenas a 16,6 km do distrito sede de Barra do Piraí. Ipiabas tem uma área total de 44,365 km², o clima ameno e os 750m de altitude contribuem para a grande visitação de turistas, que procuram Ipiabas para aproveitar o clima e o contato com a natureza.

Além de trilhas ecológicas, um dos atrativos naturais é a cachoeira de Ipiabas, formada por duas quedas, uma com 3,5 m de altura e a outra com 5 m.

A ligação com a história dos antigos barões do café também contribui para o crescimento do turismo cultural do município, recebendo vários eventos importantes no decorrer do ano. Os eventos do Circuito Vale do Café comprovam isso, já que o aumento da visitação de pessoas na cidade contribuiu para que a gastronomia e as pousadas ganhassem força no distrito para poder atender à demanda (PMBP, 2022).

O distrito ainda contará com diversas intervenções na gestão do atual Prefeito (2021 a 2024), que pretende fomentar ainda mais o turismo na região com o projeto intitulado “Ipiabas Cinco Estações”, onde prevê a visitação de turistas não somente no clima frio e, sim, todo o ano, com diversas atrações e eventos.

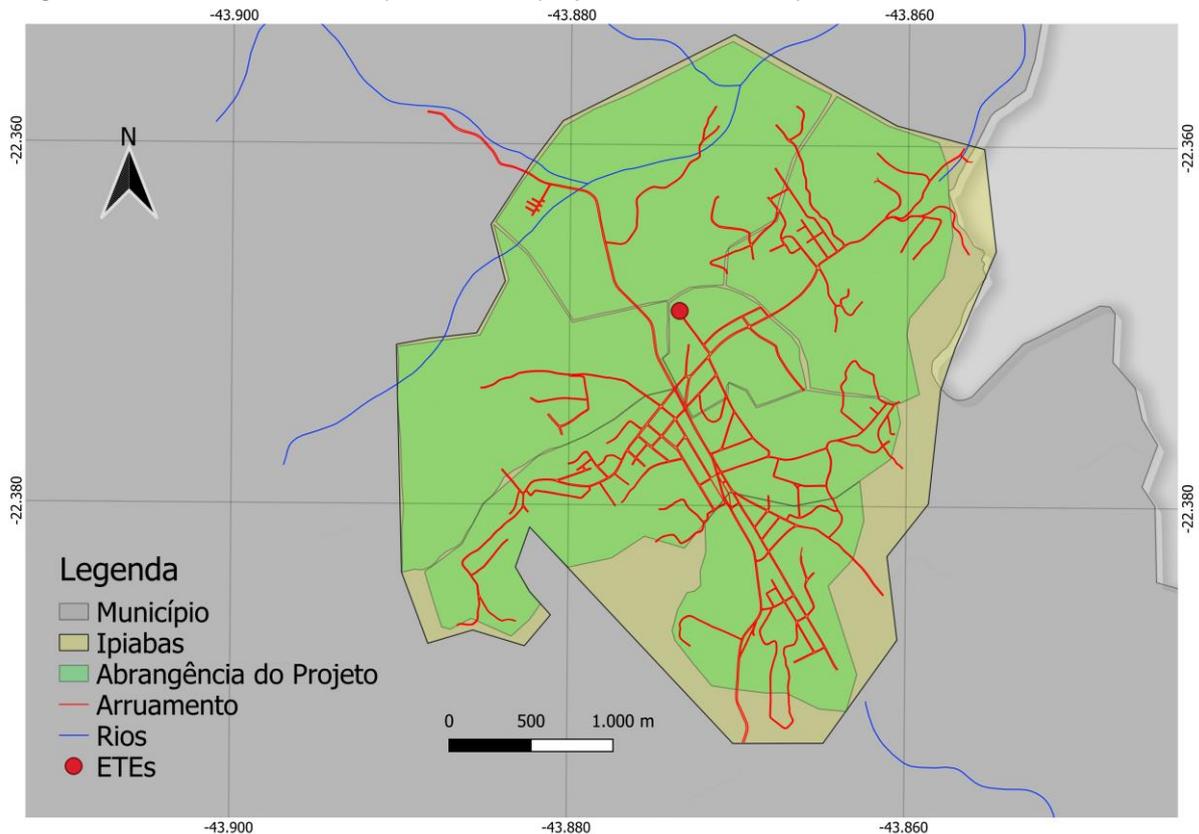
O projeto básico para atender a região urbana do distrito de Ipiabas foi elaborado por uma empresa de consultoria e engenharia em outubro de 2011. Neste documento, dados como: caracterização, estudos demográficos, serviços topográficos, estudo de concepção, projetos hidráulicos e orçamentos foram disponibilizados (PMBP, 2011).

Segundo dados repassados pela Prefeitura Municipal de Barra do Piraí, a população do distrito de Ipiabas seria de 10.000 habitantes em 2011, considerando a população residente e a flutuante, distribuída em hotéis, pousadas e casas de veraneio). De acordo com o Censo 2010 do IBGE, a população residente total do distrito era de 4.294 habitantes, sendo destes, 3.954 na área urbana do distrito, e 340 na área rural (IBGE, 2011).

A partir do estudo demográfico realizado pela equipe da Sanetal Engenharia & Consultoria, baseado em dados do IBGE ficou definido que a população inicial de projeto (2012) seria de 4.805 habitantes e de final de plano (2037) de 7.767 habitantes (contemplando 85% da população total), e totalizando ainda

aproximadamente 27.000 metros de rede coletora. O processo de tratamento proposto é de UASB (reator anaeróbico de fluxo ascendente) seguido de lodos ativados. A área do distrito (amarelo) e de abrangência do projeto elaborado (verde) pode ser visualizada na Figura 10 a seguir.

Figura 10 – Localidade contemplada com o projeto do distrito de Ipiabas



Fonte: A autora, 2022.

2.6.3 Descrição do projeto para o Distrito da Califórnia da Barra

O distrito da Califórnia da Barra é o menor em extensão territorial de Barra do Piraí, com apenas 28,474 km², a Califórnia, como é comumente tratada, é o segundo distrito mais populoso do município, com mais de 20 mil habitantes. Está localizado a 36,1 km do distrito sede e possui oficialmente 11 bairros, sendo eles: Boa Vista da Barra, Santa Terezinha, Cerâmica União, Recanto Feliz, Morada do Vale, Califórnia, Bairro de Fátima, Estrela de Fátima, São Luís da Barra, São Francisco e Guadalupe.

Somente neste distrito existem duas ETEs construídas, porém, uma delas sem funcionamento e a única ETE onde ocorre a chegada de efluentes coletados, se encontra sem monitoramento e sem a devida operação, como por exemplo, a retirada de lodo.

De acordo com o próprio manual da ETE, onde é determinada a frequência de remoção de lodo para um bom funcionamento do processo, pode-se afirmar que a ETE já não possui espaço para a compactação do lodo gerado (Figura 11), e a carga que deveria ser tratada, pode estar sendo lançada no corpo hídrico receptor (rio Paraíba do Sul) (PMBP, 2009).

Figura 11 – Aumento da imagem para a verificação do lodo no decantador da ETE



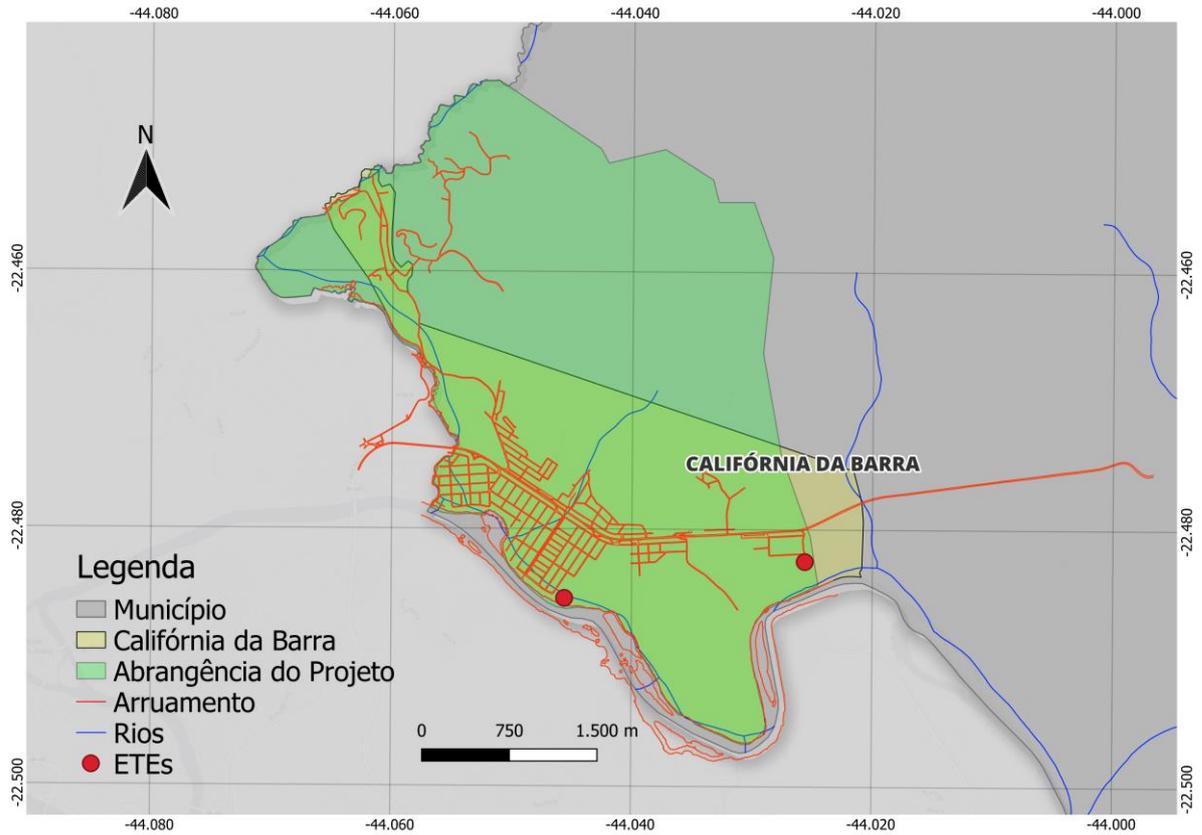
Fonte: A autora, 2022.

O projeto básico de tratamento e coleta de efluentes domésticos realizado para a Califórnia da Barra propôs o dimensionamento hidráulico dos coletores troncos, das estações elevatórias, estações de tratamento e demais elementos do projeto, como travessias e elementos acessórios, entre outros, para duas ETEs distintas, uma com vazão de projeto de 50 L/s e a outra de menor capacidade com 7 L/s (PMBP, 2022).

Este foi o único projeto onde a construção das ETEs e redes foram concluídas, e começaram a operar em julho de 2013, com os seguintes processos de tratamento: biológico anaeróbico e aeróbico, composto de UASB (reator anaeróbico) + biofiltro aerado + decantador secundário (AEGEA, 2017).

A Figura 12 demonstra a demarcação do distrito da Califórnia (amarelo) e a bacia de contribuição do sistema de tratamento de esgoto do local (verde).

Figura 12 – Áreas do distrito da Califórnia e do projeto elaborado e construído



Fonte: A autora, 2022.

Na Figura 13 é observada parte da ETE com maior vazão, a ETE Califórnia da Barra.

Figura 13 – ETE Califórnia da Barra



Fonte: A autora, 2022.

Segundo a Secretaria Municipal de Água e Esgoto da Prefeitura Municipal de Barra do Piraí (2022), a ETE Califórnia da Barra se encontra em funcionamento, porém, sem monitoramento, o que dificulta saber por exemplo, a carga orgânica tratada e os parâmetros de eficiência.

No momento do tratamento do efluente, ocorre a sedimentação do material em suspensão presente no esgoto, este fenômeno ocorre a todo o momento, e para que exista local para esta sedimentação, o lodo deve ser retirado de tempos em tempos, variando de acordo com a tecnologia da ETE escolhida.

A Figura 14 apresenta a ETE de menor capacidade (7L/s) no distrito de Califórnia da Barra, chamada de ETE Manibra. Ela não se encontra em funcionamento, então, o tratamento é inexistente, por mais que a ETE esteja construída (SMAE, 2022).

Figura 14 – ETE Manibra localizada no distrito da Califórnia da Barra



Fonte: A autora, 2022.

O resumo dos dados principais contidos nos projetos que serão abordados neste trabalho pode ser visualizado no Quadro 2.

Quadro 2 – Informações sobre os dados de população e tipos de tratamento apresentadas nos projetos de saneamento em estudo.

Localização	Data de entrega do projeto	População estimada e horizonte de projeto	Tipo de tratamento proposto	Vazão de projeto L/s
Distrito sede	Jun 2010	2010: 23.896 2030: 30.214	UASB (reator anaeróbio de fluxo ascendente + Filtro aerado submerso + Decantador	47,25
				15,21
Ipiabas	Out 2011	2012: 5.648 2037: 9.014	UASB (reator anaeróbio de fluxo ascendente + lodo ativado	27,66
Califórnia da Barra	Nov 2009	2008: 17.244 2028: 22.107	UASB (reator anaeróbio de fluxo ascendente + Biofiltro aerado submerso + Decantador Secundário	50
				7

Fonte: PMBP, 2009, 2010, 2011. (Adaptado pela autora)

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 A Política Nacional de Recursos Hídricos

No campo do planejamento territorial, as áreas de drenagem são consideradas como a unidade elementar de avaliação para o progresso de ações e medidas estruturais e não estruturais, com a visão de conectar a gestão de recursos hídricos e gestão ambiental. No Brasil, essa divisão territorial foi estabelecida por meio da Política Nacional de Recursos Hídricos, após a criação da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e depois aplicada na Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012 e em regulamentações derivadas da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981.

É notável que, para garantir uma gestão bem-sucedida desses recursos hídricos, é indispensável abordá-la de forma holística, levando em consideração todos os aspectos físicos, sociais e econômicos da área de sua bacia hidrográfica. Contudo, percebe-se que, mesmo com essa perspectiva sistêmica, os recursos hídricos, que são uma parte crucial do meio ambiente, são vulneráveis a impactos negativos, seja na qualidade ou na quantidade, além de serem afetados por mudanças no curso dos rios ou pela diminuição dos canais de escoamento, gerando uma situação preocupante de degradação e negligência (SILVA, 2003).

Um dos instrumentos desta Política, e o que mais se relaciona a este trabalho é o Enquadramento dos corpos d'água, com as definições no item 2.2 a seguir.

3.2 Enquadramento dos corpos d'água

O enquadramento dos corpos d'água em classes é um instrumento para o planejamento segundo a Lei 9.433 de 1997. O objetivo é garantir a qualidade compatível das águas com seus respectivos usos, sejam eles mais exigentes ou não (BRASIL, 1997).

A legislação que classifica os corpos hídricos e estabelece diretrizes para o enquadramento, bem como os limites para os parâmetros de qualidade de água é a Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº 357, de 17 de março de 2005 (CONAMA, 2005). Posteriormente modificada e complementada pela Resolução CONAMA 430, de 13 de maio de 2011 que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes (CONAMA, 2011).

Alguns parâmetros de qualidade da água que podem ser analisados no monitoramento e servem para a determinação das classes, são: temperatura, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), fósforo, nitrogênio, potencial hidrogeniônico (pH), oxigênio dissolvido, bactérias do grupo coliformes, entre outros, como por exemplo compostos orgânicos (pesticidas) e inorgânicos (metais).

O enquadramento das águas superficiais acontece de três formas distintas, considerando as características das águas, sendo elas, doces, salgadas ou salinas. A organização das águas doces superficiais ocorre em cinco classes de acordo com a qualidade para seus usos preponderantes: I- classe especial, II – classe 1, III – classe 2, IV – classe 3 e V – classe 4. De modo que as águas superficiais salinas e salobras são enquadradas em quatro classes apenas, de mesma denominação das águas doces, à exceção da classe especial.

Quando se tratar da água doce classe especial no enquadramento, as condições naturais dos corpos hídricos deverão ser mantidas, e para as outras classes, a Legislação vigente estabelece níveis máximos para parâmetros preestabelecidos para a conservação de determinado corpo hídrico. Conforme o número da classe aumenta, menos restritivos são os limites dos parâmetros de qualidade de água (CONAMA, 2005).

O enquadramento e as classes das águas subterrâneas têm como base a Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008. Neste sentido, considera-se que:

Os aquíferos se apresentam em diferentes contextos hidrogeológicos e podem ultrapassar os limites de bacias hidrográficas, e que as águas subterrâneas possuem características físicas, químicas e biológicas intrínsecas, com variações hidrogeoquímicas, sendo necessário que as suas classes de qualidade sejam pautadas nessas especificidades (CONAMA, 2008, p. 308).

As águas subterrâneas são divididas em 6 classes dispostas no Art. 3º da Resolução CONAMA nº 396 de 2008, que são: I – classe especial, II – classe 1, III – classe 2, IV- classe 3, V- classe 4 e VI- classe 5. Granziera (2001) destaca que o

enquadramento das águas objetiva à proteção, não só das águas, mas da saúde pública, pois existe o cuidado em definir a utilização das águas como o mote da classificação, como por exemplo: para consumo humano e na agricultura. Além disto, o autor discorre sobre os custos agregados ao tratamento de água para determinado fim, que tem a tendência em ser maiores nas classes menos restritivas.

A concepção da proposta de enquadramento, deve ser realizada pelas agências de água e, na sua inexistência, pelo órgão gestor de recursos hídricos, em parceria com o órgão ambiental. É fundamental a discussão da proposta no Comitê de Bacia Hidrográfica, que posteriormente, deverá submetê-la à aprovação do respectivo Conselho de Recursos Hídricos (ANA, 2013).

A Figura 15 demonstram as classes utilizadas na PNRH.

Figura 15 – Classes de enquadramento e respectivos usos e qualidade da água doce.



Fonte: ANA, 2022.

A seguir, são apresentadas nos Quadros 3, 4 e 5, as classes para águas doces, salobras e salinas e seus usos.

Quadro 3 - Classes de enquadramento das águas-doces e usos respectivos

USOS DAS ÁGUAS DOCES		CLASSES DE ENQUADRAMENTO				
		ESPECIAL	1	2	3	4
Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas		Classe mandatória em Unidades de Conservação de Proteção Integral				
Proteção das comunidades aquáticas			Classe mandatória em terras indígenas			
Recreação de contato primário						
Aquicultura						
Abastecimento para consumo humano		Após desinfecção	Após tratamento simplificado	Após tratamento convencional	Após tratamento convencional ou avançado	
Recreação de contato secundário						
Pesca						
Irrigação			Hortaliças consumidas cruas e frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película	Hortaliças, frutíferas, parques, jardins, campos de esporte e lazer	Culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras	
Dessedentação de animais						
Navegação						
Harmonia paisagística						

Fonte: ANA, 2022 (Adaptado pela autora).

Quadro 4 - Classes de enquadramento das águas salobras e usos respectivos

USOS DAS ÁGUAS SALOBRAS		CLASSES DE ENQUADRAMENTO			
		ESPECIAL	1	2	3
Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas		Classe mandatória em Unidades de Conservação de Proteção Integral			
Proteção das comunidades aquáticas			Classe mandatória em terras indígenas		
Recreação de contato primário					
Aquicultura					
Abastecimento para consumo humano			Após tratamento convencional ou avançado		
Irrigação			Hortaliças consumidas cruas e frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película. Parques, jardins, campos de esporte e lazer		
Recreação de contato secundário					
Pesca					
Navegação					
Harmonia paisagística					

Fonte: ANA, 2022. (Adaptado pela autora)

Quadro 5 - Classes de enquadramento das águas salinas e usos respectivos

USOS DAS ÁGUAS SALINAS		CLASSES DE ENQUADRAMENTO			
		ESPECIAL	1	2	3
Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas		Classe mandatória em Unidades de Conservação de Proteção Integral			
Proteção das comunidades aquáticas					
Recreação de contato primário					
Aquicultura					
Recreação de contato secundário					
Pesca					
Navegação					
Harmonia paisagística					

Fonte: ANA, 2022. (Adaptado pela autora)

Outro ponto importante para auxiliar na caracterização de um corpo hídrico é o emprego de índices de qualidade de água, item que será abordado a seguir.

3.3 Índice de Qualidade de Água (IQA)

Os índices de qualidade de água são instrumentos importantes para a verificação e acompanhamento da qualidade de um meio aquático, uma vez que facilita a divulgação e disseminação da informação de forma simples e descomplicada da qualidade desse recurso. Cabe ressaltar que a disseminação das informações sobre a qualidade da água também faz parte da gestão dos recursos hídricos definida na Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1989).

Até o momento, vários sistemas de classificação de qualidade de água foram desenvolvidos e utilizados no mundo. Nos últimos 130 anos, vários países da Europa pesquisaram e aplicaram essas classificações, baseadas na quantidade de

poluição identificada e na presença de grupos de organismos macro e microscópicos, como por exemplo peixes, organismos bentônicos e plantas (MMA, 2003).

Por conta da quantidade de parâmetros relacionados à poluição, surge a necessidade do emprego de um índice, que permita exprimir com clareza a qualidade de um corpo hídrico. Maranhão (2007) destaca que, os melhores índices são os que contém atributos como: ser o mais simples para o entendimento, ter quantificação estatística e coerência.

A primeira tentativa da criação um IQA foi realizada na Alemanha no ano de 1948, utilizando correlações entre os níveis de poluição e determinadas comunidades de organismos (peixes, organismos bentônicos e plantas) (ALVES et al., 2014).

No Brasil o uso de índices foi ampliado a partir do ano de 1972 quando o relatório anual do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) observou a necessidade do emprego de índices quando se tratava do meio ambiente (MMA, 2003).

3.3.1 IQA CCME

O *Canadian Council of Ministers of the Environment* (CCME), em 1997, desenvolveu um Índice de Qualidade de Água (IQA), conhecido também como IQA Canadá. Para este desenvolvimento foi criado um comitê formado por dois grupos: *CCME Water Quality Guidelines Task Group* e *CCME State of the Environment Task Group*. Este comitê foi criado com o intuito de analisar os índices de qualidade da água encontrados no país, com o objetivo de desenvolver um novo índice, que pudesse ser empregado por todas as províncias e territórios do Canadá, tornando a divulgação da qualidade da água mais simples e uniforme. Diante do exposto, foi produzido o IQA_{CCME}, que é um ajuste de dois índices utilizados nas províncias do Canadá, tendo como base a fórmula do índice de qualidade de água do *British Columbia Ministry of Environment, Lands and Parks* (BCWQI), com incorporações do índice desenvolvido/aplicado pela *Albert Environment* (CCME, 2001).

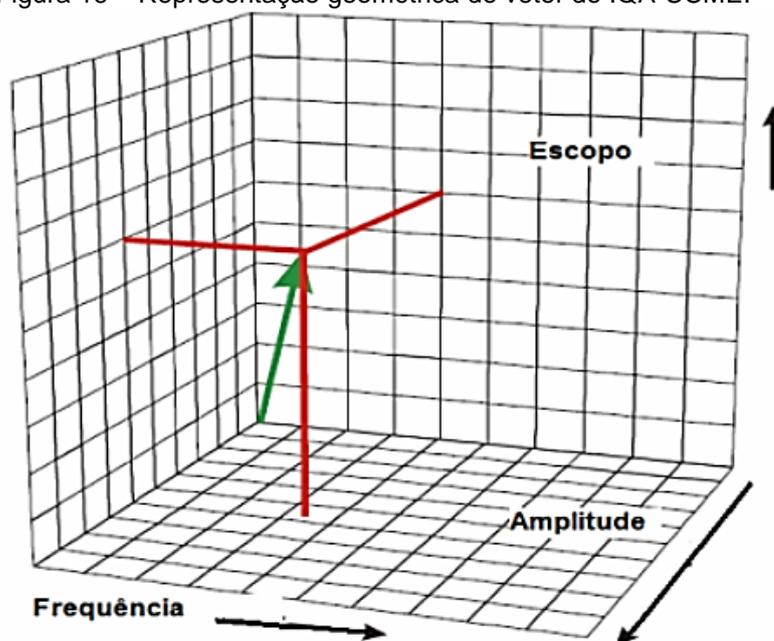
A aplicabilidade do IQA_{CCME} é de forma estatística, fundamentada na frequência dos erros relativos tendo em vista as condições desejadas de qualidade

da água, justificadas pelos padrões de qualidade da legislação vigente ou por métodos de qualidade cientificamente fundamentados.

A formulação do índice tem como base, a união de três medidas ou fatores de conformidade, ou de desvio de um padrão ou objetivo, definido para a qualidade de água de interesse (abastecimento público, proteção da vida aquática, irrigação, etc.). Esses três fatores tem uma variação na escala de zero a cem e consistem em: Alcance (F1): abrangência do impacto provocado por uma não conformidade; Frequência (F2): frequência com a qual aconteceu a não conformidade; Amplitude (F3): medição do quanto de desvio ocorreu entre o valor não conforme e aquele determinado pelo padrão de qualidade de água ou pelo propósito escolhido (CCME, 2001).

A união desses três fatores institui um vetor em um espaço imaginário de não conformidade, onde o comprimento é calculado para o intervalo entre zero e cem como mostra a Figura 16. O valor de cem é subtraído do vetor para produzir um índice de valor zero ou próximo a zero para a qualidade da água muito ruim, e próximo a cem para água de excelente qualidade (SANTOS, 2016).

Figura 16 – Representação geométrica do vetor do IQA-CCME.



Fonte: CCME, 2001. (Adaptado pela autora)

O IQA-CCME não determina parâmetros específicos para sua aplicabilidade, sendo fácil de ser adaptado em relação ao tipo, à quantidade de parâmetros, ao período de monitoramento que está sendo analisado e ao tipo de corpo d'água. A escolha destes conceitos cabe ao profissional responsável pelo monitoramento e precisam ser feitas antes do cálculo do índice. O CCME propõe que sejam empregados, pelo menos, quatro parâmetros, em quatro campanhas (CCME, 2001).

A avaliação do profissional responsável pela aplicação do índice é de extrema importância na intenção de quais e quantos parâmetros devem ser incluídos no seu cálculo, além de escolher o padrão de qualidade para a comparação dos resultados. O IQA-CCME pode ser usado para identificar modificações da qualidade da água ao longo do tempo e para comparar os corpos de água, desde que os objetivos de monitoramento sejam os mesmos (CCME, 2001).

Quanto mais pontos forem fixados para o cálculo do IQA-CCME, mais amplas serão as conclusões.

Quanto ao período escolhido, este vai depender da quantidade de informações disponíveis e o intuito no cálculo do índice.

3.3.1.1 Composição do IQA - CCME

a) Cálculo do Alcance (F1)

A Equação 1 equivale à porcentagem de parâmetros em não conformidade com os padrões escolhidos, pelo menos uma vez durante o período considerado, em relação ao número total de parâmetros medidos (CCME, 2001):

$$F1 = \frac{n^{\circ} \text{ de parâmetros não conformes}}{n^{\circ} \text{ de parâmetros monitorados}} \times 100 \quad (1)$$

b) Cálculo da Frequência (F2)

A Frequência (F2), conforme Equação 2, equivale à porcentagem de análises individuais que não atendem aos padrões estabelecidos para seus parâmetros (CCME, 2001):

$$F2 = \frac{n^{\circ} \text{ de análises não conformes}}{n^{\circ} \text{ de análises realizadas}} \times 100 \quad (2)$$

c) Cálculo da Amplitude (F3):

A Amplitude (F3) reflete o quanto distante estão os valores não conformes dos padrões estabelecidos, sendo calculada em três etapas: discrepâncias (Δ); soma normalizada das discrepâncias ($\sum n\Delta$); e o cálculo da amplitude (CCME, 2001).

Cálculo das discrepâncias (Δ)

A Discrepância é a relação entre o valor medido e o valor do padrão escolhido, que mede o quanto que uma concentração individual é maior do que o valor padrão do seu parâmetro (ou “menor que”, quando considerando o padrão um valor mínimo). A discrepância é calculada pelas Equações 3 e 4 conforme o caso especificado (CCME, 2001):

Quando o valor da análise excede o padrão máximo estabelecido:

$$Discrepância = \frac{\text{valor da análise não conforme}}{\text{valor padrão}} - 1 \quad (3)$$

Para os casos em que o valor da análise é inferior ao padrão mínimo estabelecido:

$$Discrepância = \frac{\text{valor padrão}}{\text{valor da análise não conforme}} - 1 \quad (4)$$

Cálculo da soma normalizada das discrepâncias ($\sum n\Delta$),

O resultado global das análises não conformes é realizado através da soma das discrepâncias das análises individuais, com relação aos padrões estabelecidos, dividida pelo número total de análises.

Essa variável, chamada de soma normalizada das discrepâncias ($\sum n\Delta$), é calculada pela Equação 5 (CCME, 2001):

$$\sum n\Delta = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Discrepância}}{n^{\circ} \text{ total de análises}} \quad (5)$$

O F3 é então calculado por uma função assintótica (Equação 6), a qual escalona a soma normalizada das discrepâncias ($\sum n\Delta$), para se obter uma variação entre 0 e 100 (CCME, 2001).

$$F3 = \frac{\sum n\Delta}{0,01 \times \sum n\Delta + 0,01} \quad (6)$$

d) Cálculo do IQA-CCME

Após o cálculo dos três fatores (F1, F2 e F3), o índice é calculado pela soma desses fatores como se fossem vetores, ou seja, a soma dos quadrados de cada fator é, por conseguinte, igual ao quadrado do índice (Equação 7). Esta abordagem trata o índice como um espaço tridimensional definido por cada um dos fatores ao longo de um eixo. Com este modelo, as mudanças no índice ocorrerão em proporção direta com alterações em todos os três fatores (CCME, 2001).

$$IQA = 100 - \left[\frac{\sqrt{(F1)^2 + (F2)^2 + (F3)^2}}{1,732} \right] \quad (7)$$

O fator 1,732 é utilizado pois, cada um dos três fatores individuais pode chegar até 100.

Considerando o valor máximo a ser atingido:

$$\sqrt{(100)^2 + (100)^2 + (100)^2} = \sqrt{30000} = 173,2 \quad (8)$$

Desta forma o índice será redimensionado para valores entre 0 e 100, ao dividirmos o vetor pelo valor 1,732. Desta forma, pode-se garantir que o resultado do termo seja no máximo 100. A fórmula resulta em um número entre 0 (pior qualidade de água) e 100 (melhor qualidade de água). Nesta faixa (0 – 100) há cinco categorias, apresentadas no Quadro 6, bem como suas características para cada condição. (CCME, 2001).

Quadro 6 – Descrição das categorias da qualidade da água conforme IQA – CCME

Categoria	Faixa de Valor	Descrição
Excelente	95-100	Protegida com uma ausência virtual de ameaça ou comprometimento, condições muito próximas dos níveis naturais ou primitivos
Boa	80-94	Protegida com apenas um menor grau de ameaça ou comprometimento, as condições raramente se afastam dos níveis naturais ou desejáveis
Mediana	65-79	Protegida, mas ocasionalmente ameaçada ou prejudicada
Marginal	45-64	Frequentemente ameaçada ou prejudicada, as condições geralmente se afastam dos níveis naturais ou desejáveis
Ruim	0-44	Quase sempre ameaçada ou prejudicada, as condições geralmente se afastam de níveis naturais ou desejáveis

Fonte: Silveira, 2018.

Para usos da água, como água potável (sem tratamento) e recreação, parâmetros bacteriológicos precisam ser incluídos no cálculo do índice, o que difere para o uso para proteção da vida aquática, por exemplo. Porém, se o IQA-CCME for utilizado para examinar vários usos, surge a necessidade de avaliação dos parâmetros bacteriológicos.

De acordo com Von Sperling (2011), o esgotamento sanitário lançado in natura em corpos hídricos contribui para a poluição e para o declínio na qualidade de água. Portanto, para embasar a poluição do rio estudado, é necessário o entendimento acerca do esgotamento sanitário nos contextos: federal e estadual.

3.4 O cenário do esgotamento sanitário no Brasil

De acordo com o Marco Legal do Saneamento Lei 14.026 atualizado em 2020, a definição de esgotamento sanitário é constituída por:

Atividades, disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais necessárias à coleta, ao transporte, ao tratamento e à disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até sua destinação final para produção de água de reúso ou seu lançamento de forma adequada no meio ambiente (BRASIL, 2020, Art. 3º).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) normatiza os Sistemas de Esgotamento Sanitário (SES) com o tema: “Estudo de Concepção de Sistemas de Esgotamento Sanitário” (ABNT, 1986).

De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU) cerca de 2 bilhões de pessoas consomem água contaminada e, a cada dia, 700 crianças abaixo de 5 anos morrem de doenças relacionadas a falta de tratamento da água (ONU, 2021).

Em 2010, o Brasil tinha uma população de 190,8 milhões de habitantes (IBGE, 2011), estimada para 2019 em 210,1 milhões de habitantes (IBGE, 2019). É o país mais urbanizado da América Latina, com 86% da população vivendo em áreas urbanas (CEPAL, 2014). O índice de atendimento total de água no SNIS com redes públicas de abastecimento em 2021 foi de 84,2%, e em relação às redes de esgotos, abrangem 55,8% da população total brasileira (SNIS, 2022).

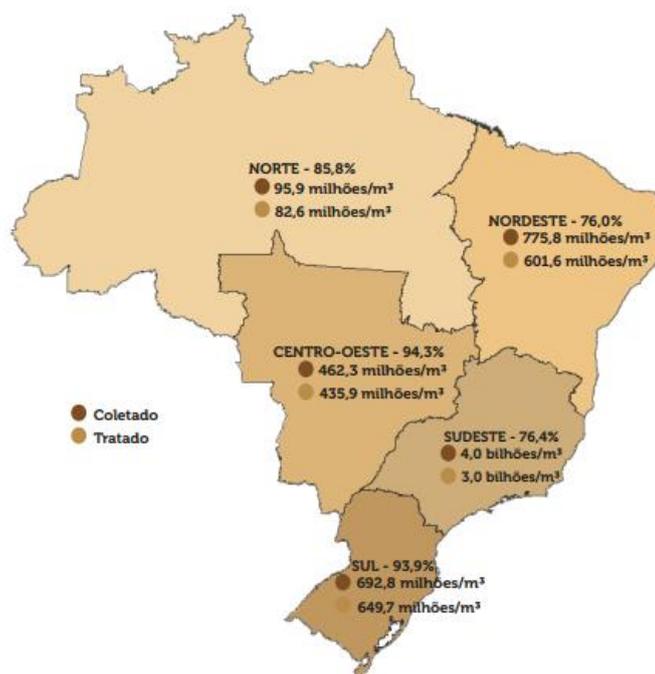
Após a finalização do período estabelecido para os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM) 2000-2015, e da mudança para o programa Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), que abrange o período de 2015 a 2030, no Brasil, o Grupo de Trabalho da Sociedade Civil para a Agenda 2030 do Desenvolvimento Sustentável (GT Agenda 2030), acompanha a inserção dos ODS e efetua documentos que apresentam análises deste trabalho. O Relatório Luz 2019 (GT Agenda 2030, 2019) declarou que o cenário já era preocupante para abastecimento de água, coleta e tratamento de esgoto, com base nos dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) desde o ano de 2017 (BINDA, 2021).

O Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) promove anualmente a coleta de dados sobre saneamento e posteriormente elabora um diagnóstico com informações repassadas por órgãos públicos, autarquias e

concessionárias responsáveis pelos eixos do saneamento básico (tratamento de água, coleta e tratamento de esgoto, drenagem da água da chuva e a gestão de resíduos sólidos gerados e a limpeza urbana) (SNIS, 2022).

O diagnóstico do SNIS publicado em 2021, com dados de 2020, mostra que houve uma ampliação de 8,1 mil quilômetros nas redes públicas de esgotamento sanitário e 1,4 milhão de novas ligações no Brasil em relação ao ano de 2019 (SNIS, 2021). Em relação ao volume de esgotos coletado em 2020, é igual a 6,0 bilhões de m³/ano, sendo tratado um volume de 4,8 bilhões de m³/ano (SNIS, 2021). A Figura 17 mostra a proporção destes parâmetros em todo o território nacional.

Figura 17 – Percentual do volume de esgotos coletado e tratado em 2020 no Brasil (m³/ano)



Fonte: SNIS, 2021.

3.4.1 Esgotamento sanitário nos cenários estadual e regional

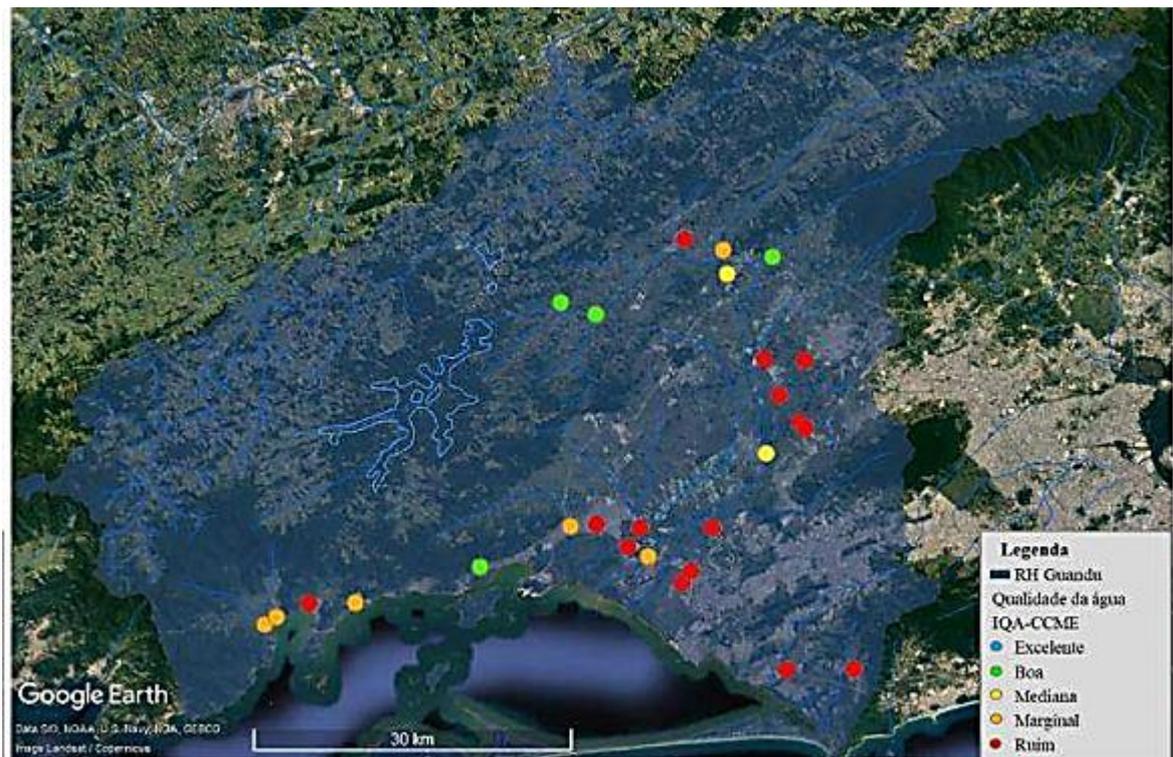
O Atlas Esgotos, lançado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico em 2017, apresentou o cenário do esgotamento sanitário no Rio de Janeiro,

onde apresentou informações como: parcela da população atendida com coleta de esgoto (73%), com tratamento de esgoto (42%) e a relação da parcela tratada com a coletada (58%). O mesmo instrumento evidenciou a quantidade de esgotos coletados ou não coletados que não passam por tratamento, este valor chega a 420,7 toneladas por dia.

Para fins da visualização do cenário do esgotamento na região Médio Paraíba do Sul e das bacias hidrográficas dos rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim, Silveira (2018) realizou um trabalho apresentando resultados de IQA CCME para ambas as regiões citadas.

A Figura 18 apresenta o diagnóstico da qualidade das águas na região hidrográfica II.

Figura 18 – Diagnóstico da qualidade das águas na Região Hidrográfica II (dos Rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim) a partir do cálculo IQA_{CCME} com dados de monitoramento do INEA no período entre 2014 a 2017.



Fonte: SILVEIRA, 2018.

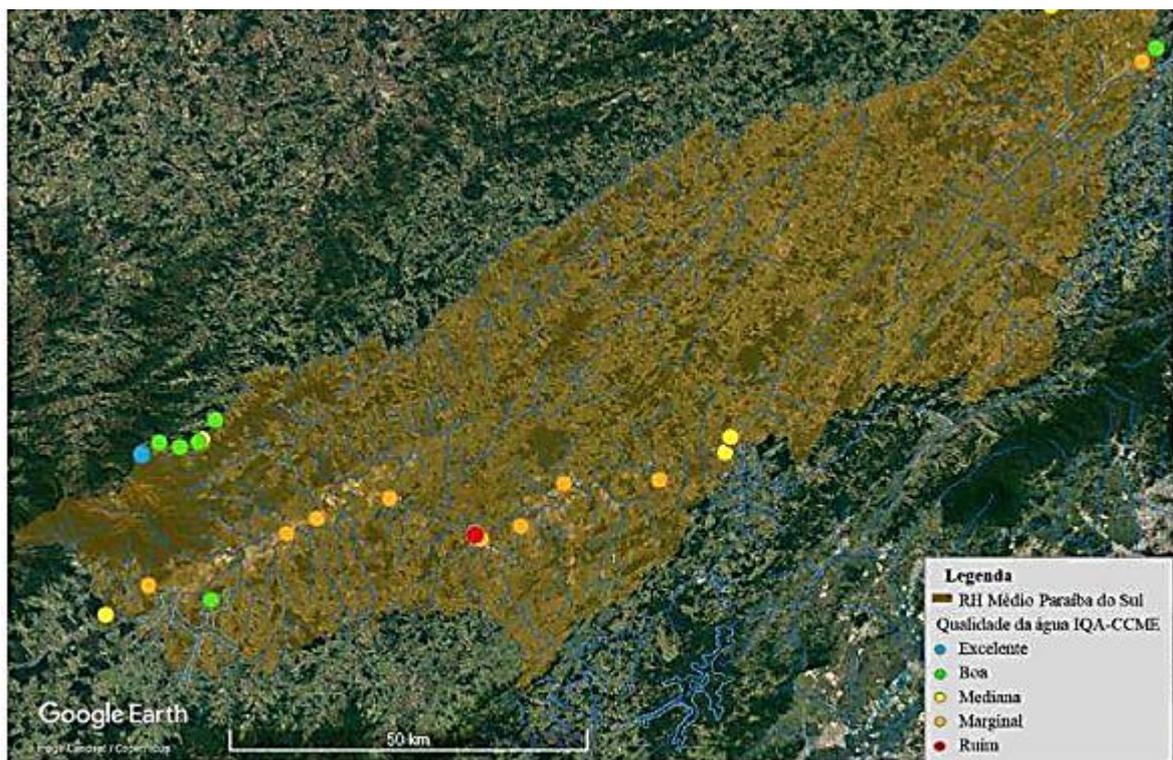
A RH II, dos rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim, era a segunda RH com pior qualidade da água do estado do Rio de Janeiro, pois apresentava uma quantidade grande de pontos de amostragem classificados nas piores faixas do IQA_{CCME} . O estudo demonstrou que 78 % dos resultados ficaram nas duas piores

classes, sendo 57 % ruim e 21 % marginal, e apenas 14 % como boa e 7 % como mediana (SILVEIRA, 2018).

Esses resultados podem ser explicados pelas diversas pressões de ocupação e uso do solo nos rios Guandu e afluentes, a ausência de matas ciliares e a crescente e intensa ocupação urbana e industrial das margens dos rios, o que acarretam problemas para o uso da água em função da degradação da sua qualidade (COPPETEC, 2014).

No mapa da Figura 19, a maioria dos pontos apresenta qualidade ruim, segundo o cálculo do IQA_{CCME} e do INEA nos anos de 2014 a 2017, de maneira geral, os pontos com pior qualidade estão localizados mais próximos às áreas mais urbanizadas (SILVEIRA, 2018).

Figura 19 – Diagnóstico da qualidade das águas na Região Hidrográfica III (Médio Paraíba do Sul) – a partir do cálculo IQA_{CCME} com dados de monitoramento do INEA no período entre 2014 a 2017.



Fonte: SILVEIRA, 2018.

A RH III, região do Médio Paraíba do Sul, é composta de um corpo hídrico principal (rio Paraíba do Sul) com intenso aproveitamento hidrelétrico e uso industrial, representado principalmente pelas usinas siderúrgicas de Barra Mansa e Volta Redonda (PMBP, 2014).

Entre os dados analisados, a RH III, nota-se que há uma predominância de pontos de monitoramento localizados no rio Paraíba do Sul ou nos seus afluentes diretos, em local próximo à confluência com o rio principal. Embora essa RH apresente uma estação de monitoramento classificada como excelente, grande parte dos pontos está classificada como marginal, 41 %, os outros pontos distribuídos entre as classes de qualidade: ruim, 5 %; mediana, 23 %; e boa, 27 % (SILVEIRA, 2018).

Neste tópico verificou-se o nível da qualidade de água de um importante corpo hídrico, sendo ele, objeto de estudo deste trabalho. Na cidade de Barra do Piraí o instrumento de gestão municipal elucida a falta de tratamento de esgoto e o potencial poluidor que o município possui perante o rio Paraíba do Sul com o lançamento de parte de seu esgoto gerado neste mesmo rio (PMBP, 2015).

Dito isto, Pereira (1999) discorreu como a água de abastecimento público é transformada em água residuária (esgoto sanitário) e através do conhecimento do consumo per capita de água possibilita a determinação do volume produzido de esgoto sanitário.

3.5 Demanda e consumo de água atrelados à geração de esgoto sanitário

Com o aumento da população urbana e da taxa de urbanização global, a demanda por água tem crescido rapidamente. No entanto, a escassez de recursos hídricos disponíveis está aumentando a competição entre os diferentes usos da água e reduzindo o acesso à água de qualidade, tornando o fornecimento de água urbana um desafio significativo para a gestão de recursos hídricos. Diante desse cenário, o crescimento inevitável da população urbana, principalmente em cidades de médio e grande porte, tem um impacto direto na demanda de água (SHARMA; VAIRAVAMOORTHY, 2009).

Portanto, a estimativa da demanda atual e futura de água é crucial para o planejamento da expansão territorial e gerenciamento da rede de distribuição para o fornecimento urbano. Além disso, o conhecimento da demanda de água também é importante para incentivar investimentos em inovações que visem à redução do consumo de água nas residências e em outras áreas urbanas (PAULO, 2019).

O consumo de água está diretamente relacionado com a geração de esgoto sanitário. De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), cada pessoa precisa de cerca de 110 litros de água por dia para atender às necessidades básicas de consumo e higiene. No entanto, uma grande quantidade dessa água é usada para fins não potáveis, como a descarga de banheiros e a lavagem de roupas e pratos. Essa água, depois de utilizada, torna-se esgoto sanitário e precisa ser tratada antes de ser descartada no meio ambiente (SABESP, 2015).

No Brasil, tradicionalmente, a taxa cobrada para o tratamento de esgoto é estimada com base no volume de água tratada fornecida, medido pelas companhias de saneamento (DORNELLES, GOLDENFUM e TASSI, 2012).

3.5.1 Método de estimativa de consumo

O consumo doméstico de água diz respeito à ingestão, às atividades higiênicas e de limpeza, o preparo de alimentos, além de outros usos. Também existe relação entre o padrão socioeconômico, quanto mais alto esse for, maior consumo de água pela da população, observado em atividades relacionadas a mais conforto e lazer, por exemplo. (HELLER; PÁDUA, 2010).

Um indivíduo precisa de pelo menos 80 litros de água por dia para satisfazer suas necessidades (IBGE, 2018).

De acordo com Heller (2010), a importância do valor do consumo per capita é essencial para calcular as capacidades das diversas unidades de uma instalação de fornecimento de água. É possível obter o valor do consumo individual utilizando a Equação 9 descrita a seguir.

$$qpc = \frac{\text{média anual consumida por uma dada população (m}^3\text{)}}{\text{população abastecida (hab)}} \times 1000 \quad (9)$$

Entretanto, é possível distinguir o consumo individual por classe de uso do solo, como por exemplo, o uso doméstico, comercial, público e industrial,

dependendo do subgrupo em que se enquadra. Sendo assim, Heller (2010) e Tsutiya (2006) classificam os consumos urbanos da seguinte forma:

- **Uso doméstico:** refere-se ao consumo de água para ingestão, higiene pessoal, limpeza, preparação de alimentos e outras finalidades. Este tipo de consumo pode variar de acordo com as características físicas da região em que as residências estão localizadas, além da renda e das particularidades culturais da comunidade em questão;
- **Uso comercial:** inclui as demandas de água por hotéis, bares, restaurantes, escolas, hospitais, postos de gasolina e oficinas mecânicas;
- **Uso público:** está relacionado com a manutenção de parques e jardins, monumentos, aeroportos, terminais rodoviários, limpeza de ruas, além do abastecimento dos próprios edifícios públicos;
- **Uso industrial:** nesta categoria, o consumo de água varia de acordo com as diferentes tipologias industriais, podendo ser utilizado como matéria-prima, na limpeza, resfriamento, em cozinhas e refeitórios.

No Brasil a média de consumo de água per capita é de 150,7 litros por habitante ao dia, vale destacar que esse valor varia de acordo com as regiões, no Sudeste a média é de 171,0 L/hab.dia e no Nordeste a média é 117,2 L/hab.dia (SNIS, 2021).

3.5.1.1 Coeficiente de retorno

O índice de geração de esgoto per capita, também conhecido como coeficiente de retorno, corresponde à relação entre a quantidade média de esgoto produzida e a quantidade média de água consumida por uma ligação predial ou economia. A quantidade média efetiva é aquela registrada nos hidrômetros

individuais através da micromedição da rede de distribuição de água (SANTOS, 2022).

Uma parcela da quantidade de água consumida em uma economia ou ligação predial não é encaminhada internamente para a tubulação de esgoto, seja em um ambiente residencial, comercial, industrial, de serviços ou de consumo público. Isso ocorre devido à perda de determinada quantidade de água por evaporação, infiltração ou escoamento superficial, como na lavagem de roupas, rega de jardins, lavagem de pisos ou veículos (BELLINASO e SCHNEIDER, 2020).

A contribuição per capita, também conhecida como Quota Per Capita (QPC), é influenciada pela média diária de consumo da população residente na cidade ou na região objeto de estudo. Para estimar a vazão de esgoto doméstico, também é necessário empregar o índice de retorno, que indica a relação entre a água fornecida às residências e a quantidade de água que retorna ao sistema de esgoto, já que ocorrem perdas no processo. Normalmente, o coeficiente adotado é de 80% na maioria dos casos (ALEM SOBRINHO; TSUTIYA, 1999; VON SPERLING, 2011).

Para Barra do Pirai, adotou-se o valor de coeficiente de retorno de 80%, valor em acordo com o Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) (2015). Este valor é uma estimativa consagrada no cenário nacional e sugerido também nas normas pertinentes.

No planejamento de um sistema de abastecimento de água em um prazo determinado, é necessário levar em conta a projeção populacional da região em questão. Essa projeção é baseada na tendência de crescimento da população e nas demandas urbanas, levando em consideração o desenvolvimento da área. Os métodos utilizados para estimar o aumento da população em uma área urbana específica são baseados em dados estatísticos do passado, anteriores à elaboração do projeto (GOMES, 2009).

3.6 Projeção de população pelo IBGE

O estudo de Oliveira (1996) destacou que a demografia é uma ciência acima de tudo empírica. Os acontecimentos que marcam o ciclo das pessoas não seriam

passíveis de análise se não fossem registrados. Por isso, a demografia tira dos registros de pesquisas e de levantamentos específicos seu material de estudo.

A partir do momento em que acontece um determinado evento (nascimento, ingresso à escola, entrada no mercado de trabalho, mudança no estado conjugal, morte etc.) até o instante em que o profissional responsável pelas análises de dados demográficos (demógrafo) dispõe da informação para interpretá-la, existe uma defasagem no tempo. Um levantamento censitário ou um estudo por amostragem pode levar meses para a finalização de coleta e apuração (OLIVEIRA, Op. Cit.).

Oliveira (Op. Cit.) ainda afirmou que a difusão de modelos empregados na demografia teve início a partir do simples registro das respostas de várias populações frente a certas questões, como, por exemplo, o ingresso ao estado matrimonial, o padrão etário da fecundidade feminina, os riscos de morte por idade e sexo, etc.

De forma geral, e até mesmo por sugestão da Organização das Nações Unidas (ONU), o maior dos levantamentos populacionais, o Censo Demográfico, é realizado a cada dez anos. Em alguns países, os registros dos eventos vitais são incompletos e, em outras vezes, são divulgados seis meses ou mais após o fim do ano civil. Portanto, o modo que a demografia utiliza para descrever ou se aproximar do presente é através de uma projeção. A projeção populacional é um mecanismo útil quando se trata de anos pós-censitários. Ela objetiva descrever as modificações que se processarão na dinâmica da população, tendo em vista as observações das tendências passadas dos componentes demográficas (OLIVEIRA, 1996).

Para Stoto (1983): “projeções populacionais são extrapolações matemáticas simples das tendências atuais e suposições sobre o futuro”; são consideradas previsões, ou seja, são informações sobre o que provavelmente acontecerá, levando em consideração dados passados.

Uma projeção de população cumpre várias intenções, mas a principal refere-se aos subsídios que ela propicia aos planejadores na criação de políticas públicas de curto e médio prazos com foco em segmentos populacionais específicos, sejam crianças e adolescentes, sejam adultos e/ou idosos.

No Brasil, as projeções oficiais de população são realizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A projeção populacional é elaborada imediatamente após a divulgação dos resultados censitários relativos à estrutura por sexo e idade, à fecundidade, à mortalidade e à migração. Além do caráter oficial da

projeção da população brasileira, para fins de reconhecimento internacional, o IBGE realiza esta tarefa em parceria com o Centro Latino-Americano de Demografia (CELADE/ONU), exercendo as recomendações metodológicas da Divisão de População da ONU (STOTO, 1983).

Alguns autores têm se dedicado à pesquisa de aplicações e adaptações de técnicas de projeções de população para pequenas áreas (BRITO; CAVENAGHI; JANNUZZI, 2010; FÍGOLI et al., 2010; GOMES et al, 2010; GONZÁLEZ; TORRES, 2012; JANNUZZI, 2007; WALDVOGEL, 1998). Estes trabalhos fazem parte de um esforço contínuo dos estudiosos sobre população para avaliar as técnicas frequentemente empregadas, corroborando com a literatura internacional sobre a aplicabilidade no planejamento para o desenvolvimento, em especial daqueles com forte base territorial.

Pesquisou-se na literatura diferentes métodos para projeção populacional: o método dos coeficientes (AiBi), utilizado pelo IBGE (2018) para estimar os dados de população dos municípios brasileiros; método geométrico e aritmético, apresentado por Tsutiya (2006) e Heller e Pádua (2010). Do Nascimento (2020) elucidou os métodos matemáticos, utilizando a função da potência e exponencial e dos Santos (2010) apresentou o método polinomial em seu estudo.

3.6.1 Setores censitários

De acordo com o IBGE (2022), os elementos caracterizados por área, os setores censitários, são considerados como a menor unidade de análise espacial do censo brasileiro, determinados basicamente por uma unidade territorial percorrida por um único recenseador. Por isto, cada recenseador executará a coleta de informações tendo como objetivo a cobertura do setor censitário que lhe é estipulado. Os limites do setor censitário podem ser compostos por uma área contínua, onde estas são situadas em área urbana ou rural e definidas por pontos de identificação.

A malha dos setores censitários urbanos do distrito-sede de 1.058 municípios, que possuíam mais de 25 mil habitantes em 1996, de acordo com a divisão territorial do Brasil de 1997, foi difundida na projeção UTM em escalas de 1:5.000 a 1:10.000.

A malha completa de setores censitários rurais do Brasil foi publicada em 2002 em escalas que variam, conforme o recorte geográfico, de 1:500.000, 1:1.000.000 a 1:2.500.000, na projeção policônica (LIBÓRIO, 2014).

Libório (Op. Cit) ainda discorre sobre o Censo Demográfico de 2000, que repartiu o Brasil em 215.811 setores censitários sendo 157.415 urbanos e 58.396 rurais. Para o Censo 2010 foi estruturada uma nova Base Territorial, a partir da qual o país foi dividido em cerca de 314.018 setores censitários, que cobrem aproximadamente 58 milhões de domicílios.

3.7 Métodos de projeção de população

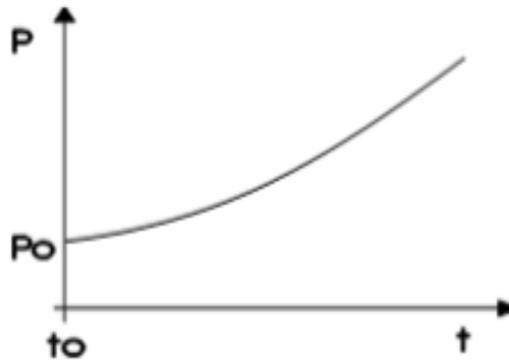
Estimativas populacionais são um recurso significativo para ajudar no planejamento de várias áreas estratégicas do avanço de uma localidade, seja ela um país, estado ou município. Por isso, é essencial ter cautela ao fazer tais estimativas, pois a precisão dos resultados obtidos pode afetar significativamente as decisões relativas a programas e ações em ambos os setores, público e privado. (FREIRE, GONZAGA E GOMES, 2019).

Para realizar tais projeções, existem métodos para posterior análise que melhor se adequa ao cenário pretendido, e dentre eles, estão apresentados nos itens 2.7.1 a 2.7.6 os mais utilizados em projetos para esgotamento sanitário.

3.7.1 Geométrico

Este método analisa o crescimento da população levando em conta uma fase de crescimento acelerado, que acompanha a forma de uma curva exponencial. As estimativas de crescimento da população a partir do uso deste método, são obtidas de acordo com a Figura 20. Nessa figura, a velocidade de crescimento (q) é subtraída do quociente entre a população final e a população no início do período da análise.

Figura 20 – Gráfico utilizado para a criação da fórmula no método geométrico



Fonte: DAMASCENO *et al.*, 2019.

Onde:

P_0 = População inicial do último censo conhecido;

t_0 = Ano do último censo;

Desta forma, as taxas futuras de crescimento geométrico são projetadas a partir das datas passadas como exemplificado nas Equações 10 e 11, a partir dos dados dos censos:

$$K_g = \frac{\ln P_2 - \ln P_0}{t_2 - t_0} \quad (10)$$

$$P_t = P_0 \times e^{K_g \times (t - t_0)} \quad (11)$$

Onde:

K_g = Coeficiente;

P_0 = População do último censo conhecido;

P_2 = População do censo anterior ao último conhecido;

t_0 = Ano do último censo;

t_2 = Ano do censo anterior ao último conhecido

Pt = População Projetada;
 t = Ano projetado (início, meio e fim).

3.7.2 AiBi

O método matemático intitulado “método de Tendência de Crescimento” para projeção do crescimento populacional de pequenas áreas, também conhecido como: “AiBi” foi proposto por Pickard (1959) e chamado pelo nome de método *Apportioment*. No Brasil, com o objetivo de projetar a população urbana e rural das Unidades da Federação, este método foi introduzido por Madeira e Simões (1972). Tradicionalmente, esta metodologia de projeção é utilizada pelo IBGE para calcular as estimativas de totais populacionais dos municípios brasileiros (IBGE, 2013). Basicamente, este método estima a população de um conjunto de áreas menores que formam uma área maior cujo quantitativo populacional é conhecido em todo período de projeção. Para isto o método relaciona a tendência de crescimento da área menor, entre dois pontos conhecidos no tempo, com a crescimento tendência de crescimento da área maior através de uma relação ou função linear.

Ou seja, as populações dos municípios têm relação com a população do estado a qual pertence. Já as populações dos estados têm relação com a população total do Brasil.

Considera-se, então, uma área maior cuja população estimada em um momento t é P(t). Subdivide-se esta área maior em n áreas menores, cuja população de uma determinada área i, na época t, é evidenciada como a Equação 12:

$$P_i(t); \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (12)$$

Desta forma, tem-se a Equação 13:

$$P(t) = \sum_{i=1}^n P_i(t) \quad (13)$$

Decompondo-se, por hipótese, a população desta área i, em dois termos: *ai* P(t), que depende do crescimento da população da área maior, e *bi*. O coeficiente *ai*

é denominado coeficiente de proporcionalidade do incremento da população da área menor i em relação ao incremento da população da área maior, e b_i é o denominado coeficiente linear de correção. Como consequência, tem-se a Equação 14:

$$P_i(t) = a_i P(t) + b_i \quad (14)$$

Para a determinação destes coeficientes, utiliza-se o período delimitado por dois Censos Demográficos. Sejam t_0 e t_1 , respectivamente, as datas dos dois Censos. Ao substituírem-se t_0 e t_1 na Equação 14, tem-se as Equações 15 e 16 a seguir.

$$P_i(t_0) = a_i P(t_0) + b_i \quad (15)$$

$$P_i(t_1) = a_i P(t_1) + b_i \quad (16)$$

Através da resolução do sistema acima apresentado pelas Equações 14 e 15, tem-se que as Equações 17 e 18.

$$a_i = \frac{P_i(t_1) - P_i(t_0)}{P(t_1) - P(t_0)} \quad (17)$$

$$b_i = P_i(t_0) - a_i P(t_0) \quad (18)$$

Deve-se considerar nas expressões anteriores, para fins de exemplo, os dados:

Época t_0 : 1º censo demográfico (2000);

Época t_1 : 2º censo demográfico (2010);

Época t : ano estimado (IBGE, 2013).

A partir da aplicação do modelo descrito anteriormente, podem ser estimadas as populações de cada um dos municípios brasileiros, considerando-se como área maior as respectivas Unidades da Federação e o Brasil, cujas projeções foram

elaboradas pelo método das componentes demográficas e disponibilizadas pelo próprio IBGE (IBGE, 2013).

3.7.3 Aritmético

O método aritmético pressupõe uma taxa de crescimento constante para os anos que seguem a partir de dados conhecidos, por exemplo, a população do último censo (TSUTIYA, 2006). Este método pressupõe o crescimento de uma população sob a forma de uma projeção aritmética, ou seja, sua amostragem é bastante semelhante a uma reta. Quando relacionado à população, entende-se que o crescimento da população se mantém constante ao longo do tempo, evoluindo segundo a linha reta, que representa seu resultado. A fórmula que representa esse método é dada pela Equação 19, onde reajustada é apresentada na Equação 20:

$$K_a = \frac{\Delta P}{\Delta t} \quad (19)$$

$$P_t = P_0 + K_a \times (t - t_0) \quad (20)$$

Onde: “t” é o ano final, “t₀” é o ano inicial, “K_a” é o coeficiente, “P₀” é a população inicial e “P_t” é a população final (TSUTIYA, Op. Cit.).

3.7.4 Potência

Do Nascimento (2020) discorre sobre os métodos matemáticos para a projeção de população e apresenta a equação inicial a seguir (Equação 21).

$$f(x) = kx^n \quad (21)$$

Onde “k” é o tempo em anos, “x” é a população no ano inicial e “n” é a variação do ano que está sendo calculado – ano inicial.

A forma geral do gráfico depende de “n” ser par ou ímpar. Ao representar graficamente as funções de potência, devemos ter em mente as seguintes propriedades importantes: sua simetria e comportamento final. Ao identificar se uma função é uma função de potência, devemos nos certificar de que a expressão é um único termo, “k” é uma constante e “n” é um número real, onde as funções de potência vão depender dos valores inseridos nessas constantes.

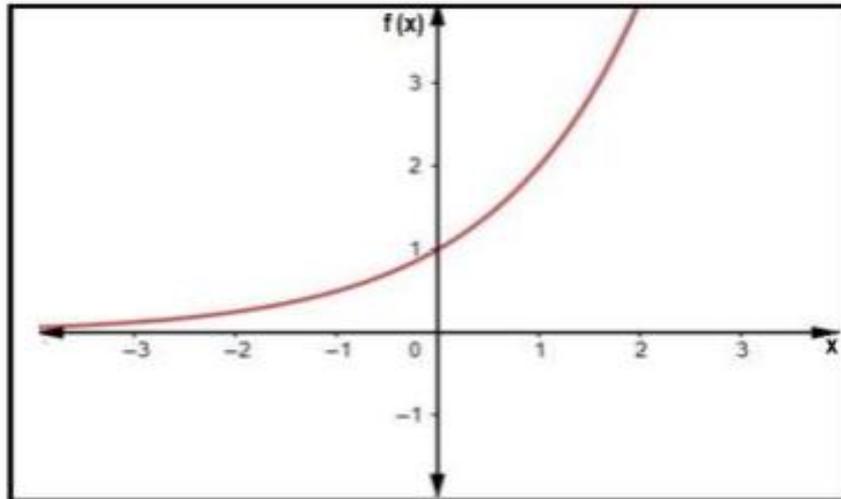
3.7.5 Exponencial

Do Nascimento (2020) apresentou a função exponencial em seu trabalho, que é uma função de acordo com a Equação 22:

$$f(x) = kb^x \quad (22)$$

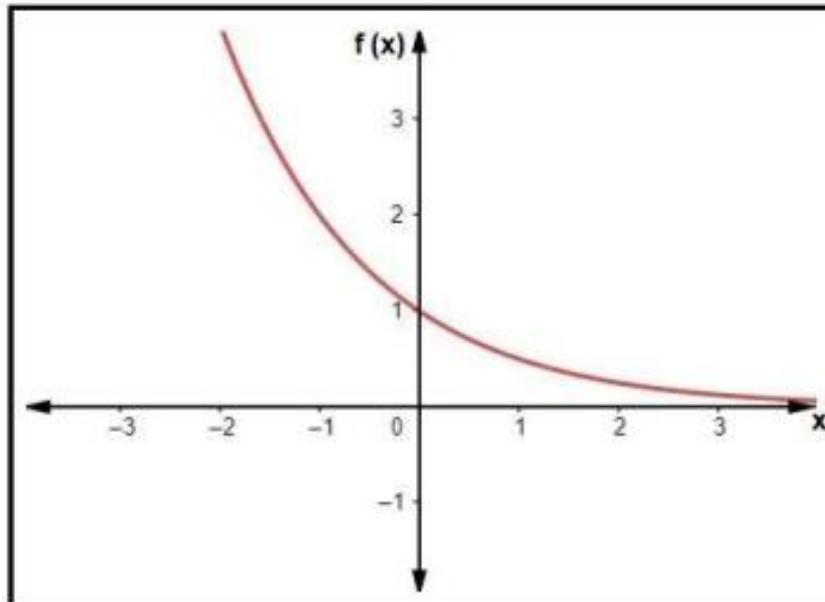
Onde “k” é a população inicial, “b” é $1+i$ onde i é a taxa de crescimento e “x” é o tempo em anos. Assim, quanto mais o valor de “x” aumentar, maior será o valor de $f(x)$. Nesse caso, tem-se uma função exponencial crescente (Figura 21). Quando o valor de “b” for maior do que zero e menor do que 1, ou seja, a função exponencial será decrescente (Figura 22). Nesse caso, quanto maior o valor de “x”, menor será o valor de $f(x)$.

Figura 21 – Gráfico da função exponencial crescente



Fonte: DO NASCIMENTO, 2020.

Figura 22 – Gráfico da função exponencial decrescente



Fonte: DO NASCIMENTO, 2020.

3.7.6 Polinomial

Dos Santos (2010), apresentou as técnicas de extrapolação complexas, que são aquelas em que se busca determinar uma função segundo um conjunto de variáveis independentes por meio de algum estimador. A extrapolação de tendência linear pode ser escrita da seguinte como mostra a Equação 23.

$$P_t = a + bX \quad (23)$$

Onde a e b são parâmetros a serem estimados e X é uma variável independente. Em geral, para a tendência pode-se utilizar o tempo em anos como variável independente. Pode-se também ajustar uma curva polinomial as informações de crescimento populacional, tal como apresentado na Equação 24.

$$P_t = a + b_1X + b_2X^2 \quad (24)$$

Nesse caso, a e b são parâmetros a serem estimados pelo método dos mínimos quadrados e a variável X aparece duas vezes elevada a primeira e segunda potência é o ano calculado. Mesmo sendo um polinômio de segundo grau, nada impede ajustamentos e uso de polinômios de graus mais elevados. Os parâmetros podem ser estimados, nesse caso, por estimadores como os de mínimos quadrados. A função polinomial oferece cenários distintos dependendo do valor de seus coeficientes (SMITH *et al*, 2001). Todavia, o crescimento não possui limites definidos, tal como ocorre no modelo linear simples, podendo a população crescer ou declinar indefinidamente.

3.8 Relação do aumento da população com a qualidade de rios e mananciais

O constante aumento populacional demanda cada vez mais a oferta de água e, diante deste cenário, os recursos hídricos encontram-se cada vez mais debilitados. Embora exista um consenso sobre a dimensão da água como um bem primordial, observa-se ao longo das décadas uma constante deterioração de sua qualidade, fato que resulta diretamente na sua disponibilidade (SIMONETTI, 2019).

A deterioração da qualidade da água ocorre em função de diversos aspectos, dentre os quais, os mais considerados estão relacionados à má gestão governamental, que espelha a precariedade do sistema de esgotamento sanitário nos centros urbanos, e à falha dos processos de fiscalização dos despejos industriais (PIROLI, 2016).

O modelo atual de uso e ocupação do solo traz várias implicações na qualidade ambiental, uma vez que os processos relacionados à ocupação do solo são muito acelerados e ocorrem de forma desalinhada e intensa nas grandes e médias cidades (PEREIRA; BISSANI, 2017). O crescimento populacional acentuado das cidades tem reprimido a resiliência dos ecossistemas naturais existentes no ambiente urbano (COELHO *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2018).

A interação entre população humana e meio ambiente tem sido marcada historicamente pela abordagem que enfatiza a relação entre tamanho populacional e disponibilidade de recursos ambientais. Essa discussão teve seu início com Malthus, em 1798, ao destacar que o crescimento populacional não poderia ser suportado pela capacidade de produção de alimentos (SZMRECSÁNYI, 1982). A alegação malthusiana, contudo, tem sido negada pela realidade, seja por meio do crescimento tecnológico, que expandiu a capacidade produtiva e diversificou a base de produção, seja pelas transformações e adaptações sociais, com a criação de instrumentos de regulação dos usos dos recursos ambientais (LAM, 2011).

O esgoto não tratado é uma das fontes mais importantes de poluição de corpos hídricos no Brasil. Isto afeta o equilíbrio ambiental e representa riscos aos seres vivos aquáticos. Um dos problemas mais comuns, é que as bactérias que decompõem a matéria orgânica dos efluentes em ambientes naturais requerem grandes quantidades do oxigênio dissolvido (OD) da água (SNIS, 2021), podendo causar anoxia.

A redução de oxigênio é prejudicial e causa morte dos organismos aeróbicos. Outro problema associado ao aporte de esgotos não tratados é a proliferação de algas devido ao aumento da concentração de nutrientes na água. Os processos empregados nas ETEs em grande parte reduzem a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) necessária para a degradação de matéria orgânica presente nos esgotos e que irá consumir o OD de ambientes aquáticos (VON SPERLING, 2011).

O diagnóstico nacional publicado pelo SNIS em 2021 tendo como base o ano de 2020, afirma que foi identificado o comprometimento da qualidade da água em mais de 110 mil quilômetros de rios devido aos despejos de efluentes não tratados. Destes, 83 mil quilômetros eram trechos próximos a áreas urbanas, onde não era possível a captação de água para o abastecimento público.

Após verificar a qualidade de um corpo hídrico e afirmar a necessidade de melhoria da água, correlaciona-se com as estimativas de população e esgoto gerado, assim, tem-se a base para iniciar um projeto de esgotamento sanitário para determinada área.

3.9 Projetos para esgotamento sanitário

Segundo Von Sperling (2011), durante a fase de elaboração de um projeto para implantação do sistema de tratamento de esgotos, os elementos fundamentais que devem compor os estudos dessa fase são: caracterização quantitativa e qualitativa dos esgotos afluentes à ETE; requisitos de qualidade do efluente e nível de tratamento desejado; estudos populacionais; determinação do período de projeto e das etapas de implantação; estudo técnico das diversas alternativas de tratamento passíveis de aplicação na situação em análise; pré-dimensionamento das alternativas mais promissoras do ponto de vista técnico; avaliação econômica das alternativas pré-dimensionadas; avaliação de impactos ambientais e seleção da alternativa a ser adotada com base em análise técnica e econômica.

O planejamento de um Sistema de Saneamento de Esgotamento Sanitário envolve etapas como pré-projeto, projeto básico e projeto executivo. O pré-projeto refere-se à fase de obtenção de informações e à elaboração preliminar do Sistema de Saneamento de Esgotamento Sanitário a ser utilizado no local, bem como à

determinação de todos os critérios e orientações necessários para caracterizar a solução selecionada (HAMPE, 2015).

De acordo com Toneto Junior (2004), o efluente recuperado por esses sistemas pode ser reutilizado de várias maneiras ou devolvido aos corpos d'água. Conforme Toneto Junior (2004), "[...] essas alternativas contribuem para a diminuição do uso da água potável, sendo uma boa forma de garantir a saúde, preservar o meio ambiente e garantir a sustentabilidade do território".

De Araujo e Lima (2017), realizou uma análise do projeto de esgotamento sanitário do município de Maragogi (AL), onde os autores demonstram o ponto de vista turístico, e ao contrário de Barra do Piraí, Maragogi recebe muitos turistas em diversas épocas do ano.

Em consideração ao que foi abordado até o momento, este trabalho tem foco na questão da projeção da população a ser atendida em um projeto de ETE.

Ao abordar o tema de projetos relacionados ao tratamento de esgotamento sanitário e como consequência despoluir corpos hídricos, o item 2.10 aprofundará sobre os objetivos de Desenvolvimento Sustentável e a aderência com o tema considerando partes das metas propostas nestes objetivos.

3.10 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e a aderência com o tema

Os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) fazem parte da Resolução 70/1, da Assembleia Geral das Nações Unidas: "Transformando o nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável", conhecida por Agenda 2030. Os ODS representam o resultado de uma sucessão de negociações multilaterais, marcadas pela definição de prioridade do compromisso com a sustentabilidade na cooperação internacional, para o desenvolvimento pelas Nações Unidas (BARBADO e LEAL, 2021).

No Brasil, o trabalho de adequação das metas estipuladas nos ODS parte da análise crítica e do cruzamento com as estratégias, planos e programas nacionais para garantir o desenvolvimento sustentável. Quando se trata de recursos hídricos e saneamento, em uma perspectiva integrada, destacam-se as oito metas do ODS 6,

que visa “assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas e todos”. Para contribuir com o processo de monitoramento dessas metas, a Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico (ANA), em parceria com diversas instituições, produz e sistematiza as informações utilizadas para cálculo de importantes indicadores (ANA, 2019 a). Assim, a ANA efetua o acompanhamento sistemático e periódico da condição dos recursos hídricos e de sua gestão no país por meio de estatísticas e indicadores que alimentam o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

Dentro deste contexto, o presente trabalho foi interligado a três ODS em pelo menos uma de suas respectivas metas como demonstrado nos itens 2.10.1 a 2.10.4.

3.10.1 ODS 6 - Água Potável e Saneamento

Assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável da água e saneamento para todos

Meta 6.3: Até 2030, melhorar a qualidade da água, reduzindo a poluição, eliminando despejo e minimizando a liberação de produtos químicos e materiais perigosos, reduzindo à metade a proporção de águas residuais não tratadas, e aumentando substancialmente a reciclagem e reutilização segura globalmente

3.10.2 ODS 9 - Indústria, Inovação e Infraestrutura

Construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação

Meta 9.1: Desenvolver infraestrutura de qualidade, confiável, sustentável e resiliente, incluindo infraestrutura regional e transfronteiriça, para apoiar o desenvolvimento econômico e o bem-estar humano, com foco no acesso equitativo e a preços acessíveis para todos

3.10.3 ODS 3 - Saúde e Bem-Estar

Assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todos, em todas as idades

Meta 3.9: Até 2030, reduzir substancialmente o número de mortes e doenças por produtos químicos perigosos e por contaminação e poluição do ar, da água e do solo

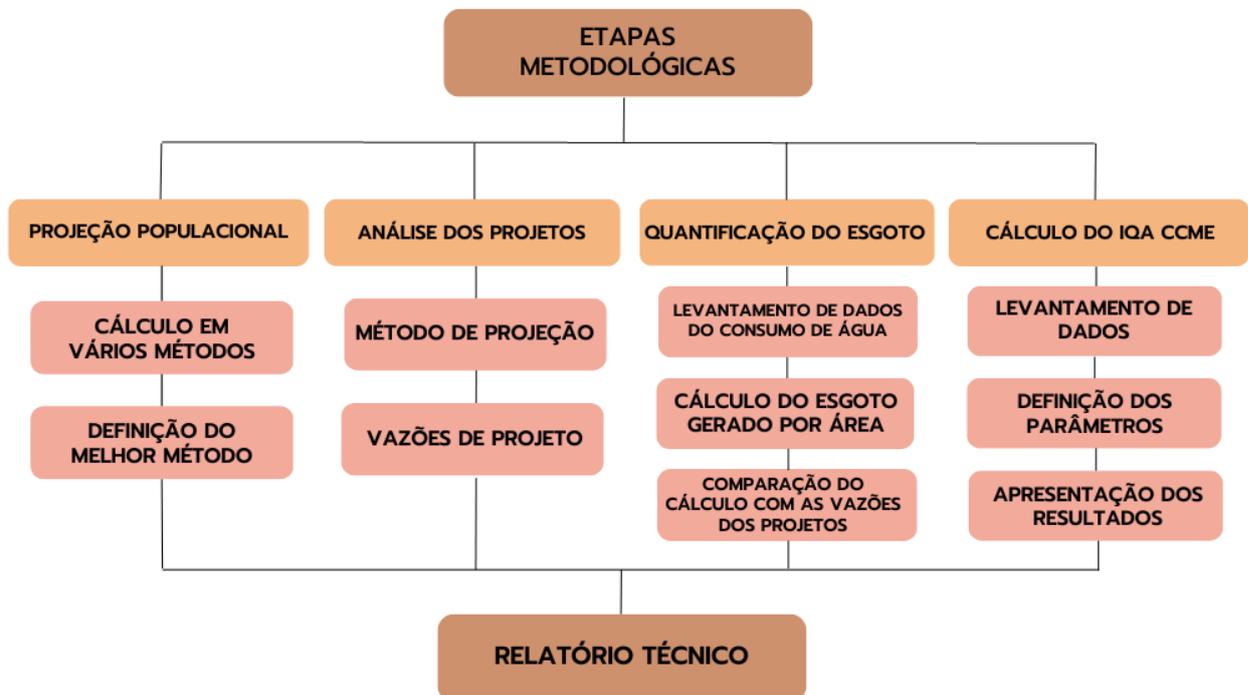
3.10.4 Aderência dos ODS com o tema

A proposta deste trabalho engloba os ODSs nos tópicos citados, de forma que, ao diagnosticar problemas e propor soluções para o esgotamento sanitário, a diminuição da poluição em corpos hídricos irá acontecer, alcançando assim, as metas 6.3 e 3.9. De mesmo modo, sendo uma das soluções a revisão de projetos elaborados no quesito de verificar se a projeção populacional dos mesmos ainda se encontra compatível com o cenário apresentado. Desta maneira, esta revisão poderá proporcionar a construção adequada de ETEs, e então, a meta 9.1 é atingida.

4 METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada de forma qualitativa do ponto de vista da avaliação do corpo hídrico e quantitativa de acordo com a revisão das projeções populacionais e apresentação da qualidade do rio por meio do cálculo do IQA_{CCME}. Foi ainda, de forma aplicada, por conta do produto gerado, um relatório técnico que servirá como objeto de gestão nesta área. Foi exploratória por necessitar da junção dos projetos existentes em posse de outras secretarias municipais e descritiva que irá se realizar após a avaliação dos projetos. O estudo utilizou a análise documental, justificada pelo emprego de laudos de análise de água e projetos já existentes. As etapas metodológicas podem ser visualizadas na Figura 23.

Figura 23 – Organograma das etapas metodológicas deste trabalho



Fonte: A autora, 2023

4.1 Qualidade de água de acordo com o IQA CCME

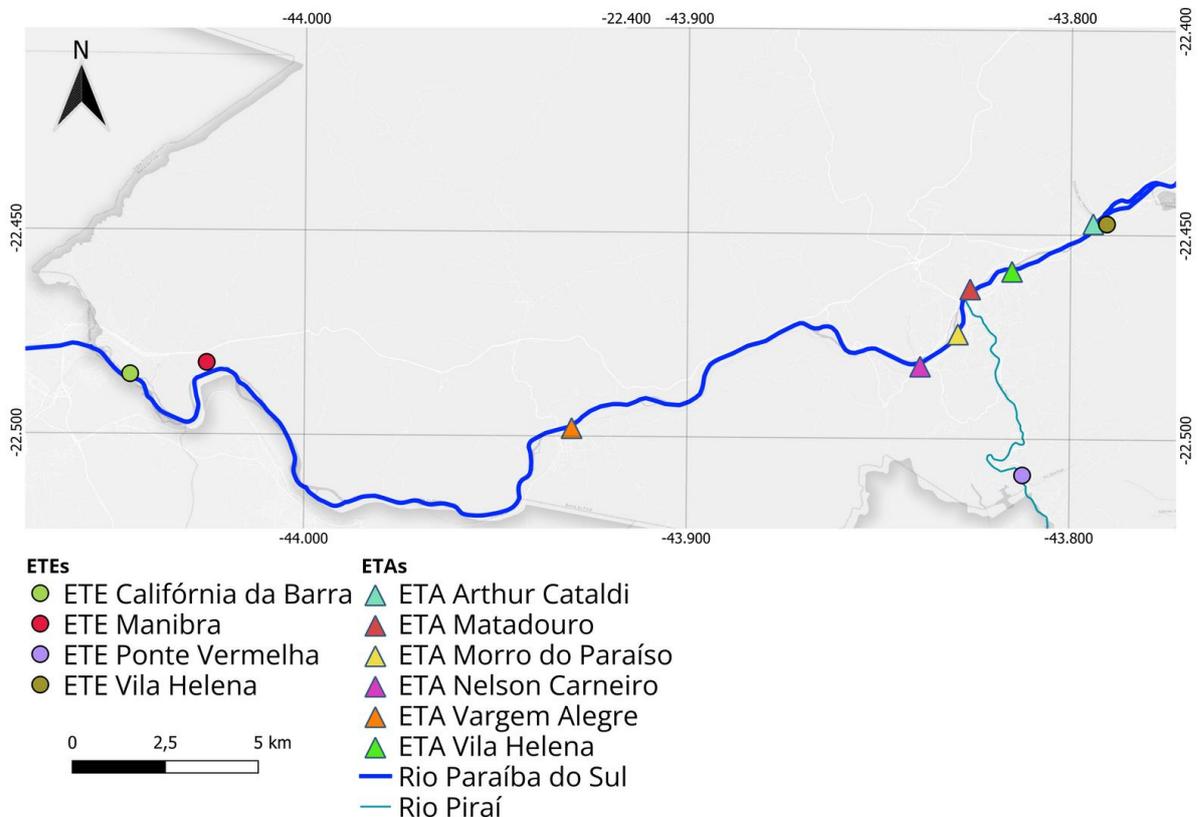
Para a verificação das consequências do cenário do esgotamento sanitário ao longo dos anos, tendo em vista os lançamentos de forma não tratada e desordenada principalmente no distrito sede, a análise do principal rio da cidade foi realizada realizada por meio do cálculo do índice de qualidade de água CCME através de uma calculadora disponibilizada pelo próprio conselho.

Foram utilizados neste cálculo, os laudos de análise de água, que foram realizados de acordo com a metodologia de análise de água: “*American Water, Works Association and World Environment Federation. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*” (2005). Os laudos pesquisados foram disponibilizados pela Secretaria Municipal de Água e Esgoto e o período avaliado foi de 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2016, 2017, 2019, 2021 e 2022. Por conta da dificuldade de informações, principalmente de amostragens, para o cálculo do IQACCME foi necessário agrupar os anos de 2010 a 2014 em um grupo e 2016, 2017, 2019, 2021 e 2022 em outro grupo.

Os parâmetros empregados nos cálculos foram: oxigênio dissolvido, DBO, turbidez, sólidos dissolvidos totais, nitrato, fósforo total e cor verdadeira, onde foi aplicado o mesmo peso para todos.

A Figura 24 apresenta a formatação do cálculo deste IQA até chegar na principal formula chegando a uma faixa de valor, para que seja comparada com uma classificação entre: excelente, boa, mediana, marginal e ruim.

Figura 25 – Trecho com os pontos de captação de água bruta e aplicação do cálculo do IQA_{CCME} (triângulos)



Fonte: A autora, 2023

4.2 Análises dos projetos e cálculo de projeções de população e consumo de água per capita

4.2.1. Análises dos projetos e Cálculo de projeções de população

A análise de cada projeto foi feita com o intuito de coletar informações importantes para este trabalho, como: vazões máximas de projeto, projeção populacional, abrangência, entre outras, que por mais que não fizessem parte do escopo do trabalho, serviram como base para entender a realidade da época de elaboração.

Um gráfico foi elaborado a partir de resultados de projeções de população com as seguintes metodologias: geométrica, aritmética, potência, exponencial, polinomial e AiBi. Para tais cálculos, foram utilizadas fórmulas de acordo com o Quadro 7 a seguir.

Quadro 7 – Resumo de fórmulas de métodos para projetar a população.

Método	Fórmula	Descrição	Autor
Geométrico	$K_g = \frac{\ln P_2 - \ln P_0}{t_2 - t_0}$	<p>K_g = Coeficiente; P_0 = População do último censo conhecido; P_2 = População do censo anterior ao último conhecido; t_0 = Ano do último censo; t_2 = Ano do censo anterior ao último conhecido P_t = População Projetada; t = Ano projetado (início, meio e fim).</p>	DAMASCENO <i>et al.</i> (2019)
	$P_t = P_0 \times e^{K_g \times (t - t_0)}$		
AiBi	$a_i = \frac{P_i(t_1) - P_i(t_0)}{P(t_1) - P(t_0)}$	<p>P = População de um censo antigo P_i = População de um censo recente a_i = coeficiente de proporcionalidade do incremento da população da área menor i em relação ao incremento da população da área maior; b_i = coeficiente linear de correção.</p>	PICKARD (1959)
	$b_i = P_i(t_0) - a_i P(t_0)$		
Aritmético	$K_a = \frac{\Delta P}{\Delta t}$	<p>t = ano final t_0 = ano inicial K_a = coeficiente P_0 = população inicial P_t = população final</p>	TSUTIYA (2006)
	$P_t = P_0 + K_a \times (t - t_0)$		
Potência	$f(x) = kx^n$	<p>k = tempo em anos x = população inicial n = é a variação do ano que está sendo calculado – ano inicial</p>	DO NASCIMENTO (2020)
Exponencial	$f(x) = kb^x$	<p>k = população inicial b = é $1+i$ onde i é a taxa de crescimento x = tempo em anos</p>	DO NASCIMENTO (2020)
Polinomial	$P_t = a + b_1X + b_2X^2$	<p>a e b = parâmetros a serem estimados pelo método dos mínimos quadrados X = ano calculado</p>	SMITH <i>et al.</i> (2001)

Fonte: DO NASCIMENTO (2020); DAMASCENO *et al.* (2019); PICKARD (1959); SMITH *et al.* (2001); TSUTIYA (2006)

Após os cálculos realizados das projeções populacionais, uma comparação foi feita com as projeções de cada projeto. A projeção que melhor se adequa à realidade de Barra do Piraí foi apresentada de acordo com as taxas de crescimento populacional contidas no Plano Municipal de Saneamento Básico do Município.

Para a produção de mapas, o software de Sistema de Informação Geográfica (SIG) QGIS 3.28.1-Firenze foi utilizado. Neste mesmo software, após serem utilizadas as bases de dados do INEA e da Prefeitura Municipal de Barra do Piraí para a obtenção dos arquivos, foi empregado também para a representação da malha de setores censitários com o intuito de auxiliar a projeção da população em diferentes métodos.

Na elaboração dos cálculos e criação de planilhas, foi empregado o software *Microsoft Excel*.

4.2.2 Estimativa per capita do consumo de água potável

Para fins de comparação posterior com a vazão dimensionada para os projetos de esgotamento sanitário foi realizado o cálculo da estimativa da geração de efluentes per capita em cada distrito. Para tal, foram coletados dados de economias e consumo de água no SNIS e a taxa média de moradores em domicílios particulares ocupados no último censo publicado do IBGE.

Cabe destacar que, em cada área de projeto existe uma concessionária atuando. Por isto, para o Distrito Sede a informação foi buscada por meio da PMBP e SNIS, para Ipiabas, pela Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro (CEDAE) e para Califórnia da Barra o Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Volta Redonda (SAAE-VR).

Heller (2010) destaca a importância do valor do consumo per capita para calcular as capacidades das diversas unidades de uma instalação de fornecimento de água.

O consumo per capita pode ser calculado de acordo com a Equação 25.

$$qpc = \frac{\text{média anual consumida por uma dada população (m}^3\text{)}}{\text{população abastecida (hab)}} \times 1000 \quad (25)$$

De forma que, quando a informação sobre a população abastecida é imprecisa ou inexistente, o cálculo pode ocorrer considerando o valor de economias e da taxa média de moradores em domicílios particulares ocupados (IBGE, 2010). Portanto, o consumo per capita de água pode ser calculado de acordo com as Equações 26, 27 e 28.

$$x = \frac{\text{consumo de água anual (m}^3\text{)}}{365 \text{ (dias do ano)}} \times 1000 \quad (26)$$

Onde: x = consumo de água diário em litro

$$y = \frac{x \text{ (L/dia)}}{\text{economias}} \quad (27)$$

Onde: y = consumo de água por economia

Considerando a média de moradores em domicílios particulares ocupados: 3,07 (IBGE, 2010), tem-se:

$$\text{consumo per capita} = \frac{y}{3} \quad (28)$$

Onde o resultado é encontrado em L/hab/dia.

Para fins de comparação com os projetos estudados em relação ao quesito vazão máxima de projeto, ou seja, a quantidade de esgoto suportada para tratamento em cada ETE, foram coletados os dados de projeções populacionais do próprio projeto do mesmo ano ou próximos aos dados de consumo de água coletados pelo SNIS.

Após o levantamento de informações, a Equação 29 é utilizada.

$$w = \text{população projetada} \times \text{consumo per capita} \quad (29)$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo abordará os resultados e discussões em tópicos divididos por tema analisado, onde o último tópico abrange uma discussão ampla sobre os três projetos.

5.1 Qualidade de água de acordo com o IQA CCME

A Tabela 2 apresentam os índices de qualidade de água feitos por meio do método CCME.

Tabela 2 – Resultado do índice de qualidade de água CCME com suas classificações e valor encontrado entre parênteses.

Data	Vargem Alegre	Nelson Carneiro	Morro do Paraíso	Matadouro	Vila Helena	Arthur Cataldi
2010-2014	Mediana (74)	Boa (91)	Mediana (73)	Mediana (65)	Boa (83)	Boa (82)
2016,2017,2019, 2021 e 2022	Marginal (64)	Marginal (61)	Mediana (72)	Marginal (61)	Marginal (61)	Marginal (62)

Fonte: A autora, 2022.

Em uma análise inicial dos resultados de acordo com a Tabela 2, observou-se que cinco pontos apresentaram declínio na qualidade da água e somente em um dos pontos a classificação mediana se manteve.

Conforme destacado no item de metodologia os dados foram divididos em dois Grupos para serem mais bem avaliados. O Grupo 1 apresentou três pontos com qualidade boa, porém, demonstrou outros três pontos com qualidade mediana.

Cabe destacar que um dos pontos onde a qualidade já era mediana e modificou-se para a classificação marginal de acordo com o IQA, se localiza à montante da Barragem Santa Cecília que é onde também acontece o início da transposição de água para o tratamento na ETA Guandu e posterior abastecimento de cidades da baixada fluminense e da cidade do Rio de Janeiro (PMBP, 2015).

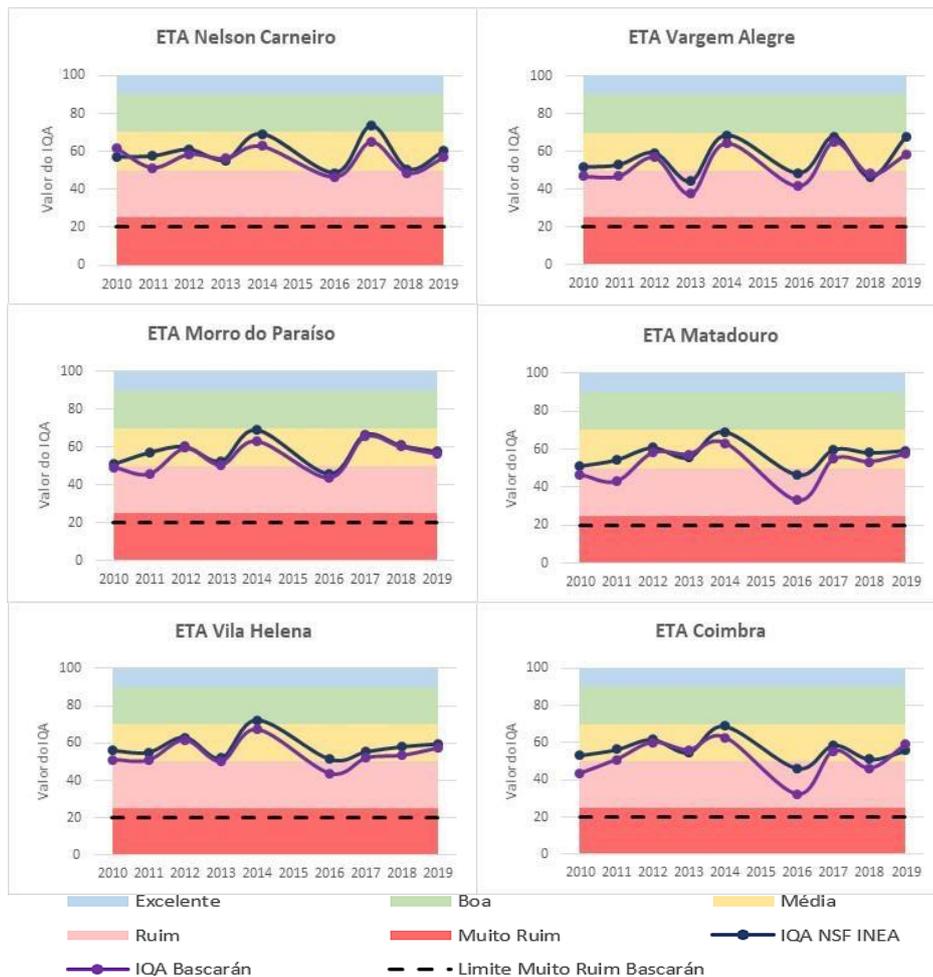
Strada (2021) também aplicou o IQA CCME em uma bacia hidrográfica onde confirmou que a redução dos IQA's, em seu estudo também foi avaliada a

degradação relacionada ao crescimento populacional. A situação pode ter sido agravada devido à problemática levantada sobre ocupações irregulares e pelo baixo índice de coleta de esgoto para tratamento. Este resultado indica um possível não acompanhamento da cobertura de esgoto à taxa de urbanização da região.

A fim de comparação do mesmo trecho analisado com outros IQAs, o trabalho de Casiuch et al. (2021), que foi utilizado como embasamento no referencial, evidenciou os níveis de poluição a partir da aplicação de dois índices de qualidade de água, Bascarán e IQA NSF-INEA, de 2010 até 2019 por meio de laudos de qualidade de água disponibilizados pela Prefeitura da cidade e Laudos do INEA. Nos mesmos pontos de amostragem desta dissertação.

A Figura 26 apresenta os gráficos dos resultados dos dois IQAs, segundo o estudo de CASIUCH *et al.*, 2021.

Figura 26 – Gráficos de Evolução do IQANSF-INEA e IQABascarán de 2010 a 2019 em Barra do Pirá



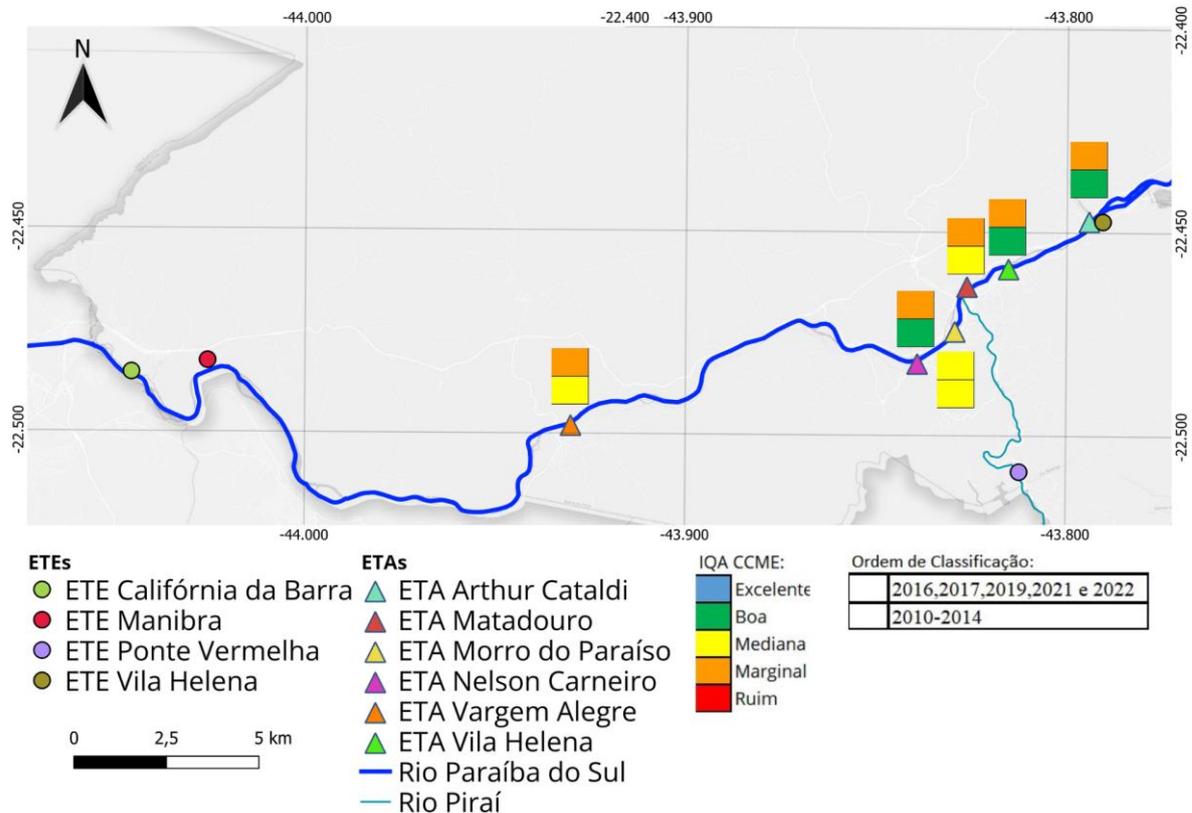
Fonte: CASIUCH *et al.*, 2021.

Em observação à Figura 26 as curvas apresentadas oscilam entre as classificações média e ruim, com predominância em média. Este resultado corrobora com o IQA CCME apresentado neste trabalho considerando que este índice contém duas classificações para qualidade mediana, sendo ela: mediana e marginal. Outro ponto importante a ser destacado, é que a variação para ruim, acontece em faixas de valores de 30 a 50, o que não ocorreu no IQA CCME, sendo o resultado mínimo o valor de 61, isto pode ser explicado também, pela diferença de alguns parâmetros analisados por Casiuch *et al.* (2021) e não analisados neste trabalho, são eles: pH e coliformes termotolerantes. O parâmetro cor verdadeira foi analisado no IQA CCME e não foi analisado por Casiuch *et al.* (2021).

Sabe-se que o IQA-CCME leva em conta: a quantidade de vezes em que uma variável não atendeu aos limites previstos pela legislação, a quantidade de testes de forma geral fora dos limites previstos e a quantidade pela qual os testes não alcançaram esses mesmos valores máximos ou mínimos estabelecidos (FERREIRA, 2019).

Para melhor visualizar a questão do despejo de esgoto sanitário tratado das ETEs o mapa na Figura 27 evidencia os resultados do índice de qualidade de água em cada ponto estudado.

Figura 27 – Esquema de parte da cidade de Barra do Piraí com os rios estudados



Fonte: A autora, 2023.

Conforme a Figura 27 verificou-se que as captações das ETAs Nelson Carneiro, Vila Helena e Arthur Cataldi apresentavam classificação “Boa” no IQA CCME no período de 2010 a 2014. Porém, todos estes três pontos mencionados variaram 20 vezes ou mais passando diretamente para a classificação marginal, no lugar de mediana, que seria a próxima após a qualidade “Boa”.

De acordo com outras pesquisas na literatura, o IQA-CCME é um índice flexível, ou seja, com a disponibilidade do ajuste dos melhores parâmetros em diferentes cenários. É o que mostra Menezes, Da Silva e Prado (2013) que empregaram o IQA-CCME na análise de aquíferos nas cidades de Itatiaia, Porto Real, Quatis e Resende, pontos à montante da cidade de Barra do Piraí. Foram analisadas 25 amostras em poços nas cidades mencionadas. De um modo geral, os resultados se encontraram nas classificações: ótima e boa, diferente do resultado do

corpo hídrico estudado neste trabalho que apresenta água superficial, que variou de mediana a marginal.

Os autores analisaram as regiões: Sul Fluminense, Litoral Leste Fluminense e Litoral Norte Fluminense, onde o melhor resultado do IQA-CCME foi dado na região Sul Fluminense (MENEZES, *et al.* 2013).

Silva *et al.* (2017) utilizou o IQA CCME para a água de abastecimento público, demonstrando mais uma vez a confiabilidade e a flexibilidade deste índice.

Com os resultados apresentados nesta seção, pode-se confirmar a degradação da água do rio Paraíba do Sul no trecho de Barra do Piraí, destacando a necessidade do tratamento do esgotamento sanitário para que a poluição seja mitigada até que seja descontinuada em uma futura universalização da coleta e tratamento de efluentes.

5.2 Projeção populacional e comparação com os projetos

Após a análise dos projetos, pôde-se extrair as informações sobre o horizonte de estudo e o método de projeção conforme Tabela 3.

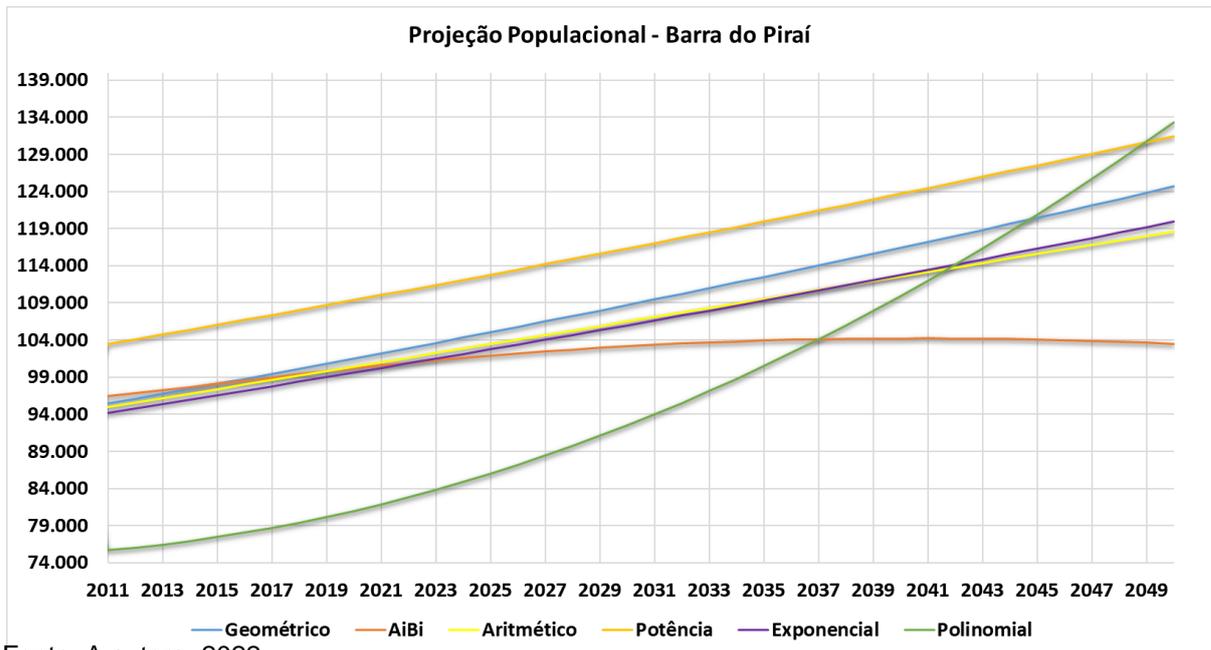
Tabela 3 – Análise do horizonte de estudo e as projeções que foram utilizadas

Localidade	Horizonte de estudo	Método de projeção
Distrito Sede	2010 a 2030	Não informado
Ipiabas	2012 a 2037	Regressão
Califórnia da Barra	2008 a 2028	Geométrico

Fonte: A autora, 2022.

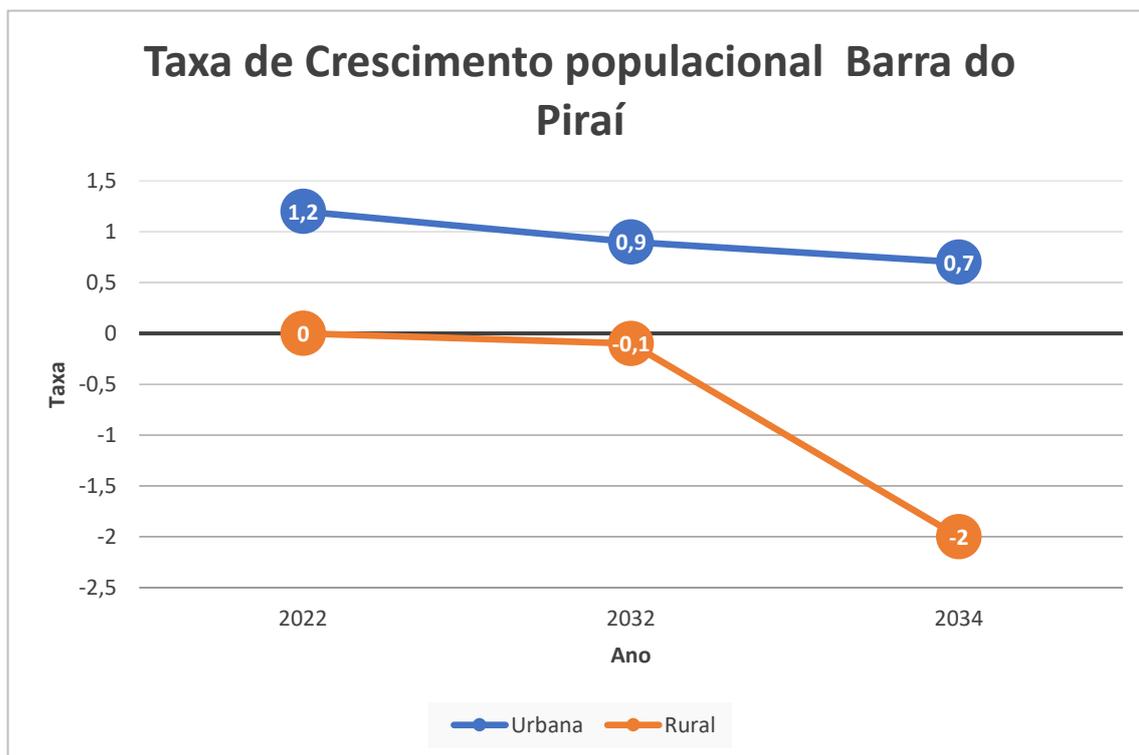
A partir das análises, calculou-se as projeções populacionais para a totalidade da cidade de Barra do Piraí, cujos resultados estão apresentados no gráfico da Figura 28.

Figura 28 – Gráfico da projeção populacional de todo o município de Barra do Pirai segundo os diferentes métodos de projeção populacional adotados no estudo.



O PMSB (2015) demonstra as taxas de crescimento populacional (Figura 29) por meio de um estudo feito no município, com a análise no desenvolvimento na infraestrutura de um modo geral e dos principais bairros, onde chegaram a índices iguais a 1,2% a.a. (até 2022), 0,9% a.a. (até 2032) e 0,7% a.a. (até 2034) para a população urbana; 0% a.a. (até 2022), -0,1% a.a. (até 2032) e -2% a.a. (até 2034) para população rural, conforme tendência apontada pelo último censo demográfico do IBGE em 2010, de acordo com a transição da fecundidade e o padrão reprodutivo no Brasil.

Figura 29 – Gráfico da taxa de crescimento populacional de Barra do Piraí



Fonte: PMSB, 2015.

Com a observação à Figura 28 novamente, a curva que melhor retorna à taxa de crescimento em Barra do Piraí, é a da metodologia AiBi.

Brito *et al.* (2010), discorreu sobre a utilização do método AiBi e a importância da pesquisa em metodologias que atendam a municípios que tenham o crescimento populacional mais baixo ou até mesmo o decréscimo da população.

Alem Sobrinho e Tsutiya (1999) comenta em seu estudo sobre a importância do melhor método de projeção, onde diz que a análise demográfica de uma determinada região depende da qualidade das informações utilizadas, as quais podem influenciar em possíveis equívocos na projeção da população. Além da precisão dos dados, aspectos como a dimensão do território estudado, definição do método utilizado e a duração do projeto são relevantes para garantir a exatidão do estudo. Normalmente, áreas reduzidas e períodos prolongados tendem a aumentar as margens de erro na estimativa populacional (ALEM SOBRINHO; TSUTIYA, 1999).

Brito *et al.* (2010), cujo estudo elucidou a utilização do método AiBi para cidades que não tenham crescimento populacional expressivo, discorreu sobre as diferenças que podem ocorrer caso um método equivocado seja utilizado, quando uma

estimativa excessivamente distante da realidade é empregada, despesas podem ser geradas sem necessidade ou negligenciar uma parte carente da sociedade. No contexto de investimentos governamentais, em particular, a distribuição adequada dos recursos pode implicar no atendimento de conjuntos populacionais que ficariam excluídos das iniciativas públicas.

Trazendo o contexto do projeto para Califórnia da Barra por exemplo, que é um projeto construído, onde apresentou um total de R\$ 11.821.759,43 para sua construção. No estudo, foi utilizado o método geométrico, que segundo a Figura 28 é o método com a terceira maior curva, com maior tendência ao crescimento populacional. Com isto, pode-se dizer que este projeto foi superdimensionado de acordo com os quesitos analisados neste trabalho (PMBP, 2009).

5.3 Cálculo do esgoto gerado por meio da estimativa per capita de água

A Tabela 4 apresenta os resultados dos cálculos da estimativa per capita de consumo de água em cada área dos projetos elaborados, bem como os dados das vazões de projeto.

Tabela 4 – Dados para o cálculo do consumo per capita de água em 2021 e posterior comparação com a vazão de projeto das ETEs propostas

Localidade	Consumo de água (m³/ano)	Economias (ano)	Vazões máximas de Projeto ETE's (L/s)	Consumo per capita (L/dia)
Distrito sede (Bacia 16: Carvão, Areal, Vargem Grande, Boa sorte, Morro do Gama e Santo Cristo)	86.710	8.752	15,21	9,05
Distrito Sede (Bacias 14 e 15: Chalet, Boca do Mato, Santana de Barra, Parque Santana, Ponte Vermelha e Roseira)	137.008	13.254	47,25	9,44
Ipiabas	445.177	1.535	27,66	264,86
Califórnia da Barra	31.900	4.210	57,00	6,92

Fonte: A autora, 2023.

O consumo de água por dia varia de acordo com a disponibilidade, a condição econômica do país e ainda com o nível de renda da população. O consumo de água no mundo divide-se basicamente em industrial, agrícola e doméstico, correspondendo respectivamente à 21, 69 e 10% do total da água doce (GOMES, 2011).

De acordo com a Tabela 4, pode-se observar que o consumo per capita ficou abaixo do estimado para a região, isto pode ser justificado por alguns fatores que são: a quantidade de ligações sem medição (pena d'água) chega a 40 mil e com hidrômetros, somente 9.437 ligações. No distrito de Califórnia da Barra, existem caminhões pipa que em algum momento, abastecem a mesma área destinada à autarquia.

Ainda visualizando a Tabela 4 verificou-se que apenas Ipiabas apresentou uma informação próxima à realidade, igual a 264,86 L/hab/dia. Além disto, é cultural que a população colete água em nascentes públicas (em sua maioria com contaminação bacteriológica) ou tenham poços residenciais. Desta forma, dificulta o cadastro e o cálculo do consumo de água per capita em Barra do Piraí.

A falta de dados, influencia ainda no setor tarifário e conseqüentemente na possibilidade de investimentos no setor de água e esgoto, tendo em vista que além da dificuldade de estimar os dados, a perda de água chegou a 77,2% em 2021 no município de Barra do Piraí (SNIS, 2022).

Após os cálculos realizados e a existência de valores não aceitáveis encontrados para o consumo per capita de água de acordo com a literatura, foram efetuados os cálculos para a verificação da vazão de esgoto gerado por meio do valor 171 L/hab.dia encontrado na literatura (SNIS, 2021).

Em uma análise nas documentações existentes dos projetos de ETEs estudados, foram destacadas as projeções populacionais. Para o projeto da Califórnia da Barra, os cálculos de projeção se apresentam na Tabela 5 a seguir.

Tabela 5 – Projeção de população para a Califórnia da Barra

População do Projeto Califórnia da Barra	
2008	2028
17.244	22.107

Fonte: PMBP, 2008

A Tabela 6 representa os valores de projeção da população encontrados para o projeto do distrito sede e está separado por bacias de esgotamento.

Tabela 6 – Projeção de população do projeto para o distrito sede

Bacia	População			Vazão final L/s
	2010	2030	Atendida	
14	15.721	19.878	18.884	39,04
15	2.935	3.711	3.525	8,21
16	5.240	6.625	6.294	15,21
Totais	23.896	30.214	28.703	62,46

Fonte: PMBP, 2010

A empresa que confeccionou o projeto para o distrito de Ipiabas, foi além e calculou a projeção em três métodos, sendo eles: geométrico, aritmético e regressão, a partir disto, o método da regressão foi o que apresentou a menor diferença da taxa de crescimento populacional com a linha de tendência polinomial, esta que se ajustou aos dados do IBGE. A Tabela 7 apresenta os dados já existentes para o distrito de Ipiabas.

Tabela 7 – Estimativa da população urbana de Ipiabas.

Ano	População residente	Ano	População residente
2012	5.648	2025	7.518
2013	5.801	2026	7.651
2014	5.953	2027	7.782
2015	6.103	2028	7.912
2016	6.251	2029	8.041
2017	6.398	2030	8.168
2018	6.543	2031	8.293
2019	6.687	2032	8.417
2020	6.829	2033	8.540
2021	6.970	2034	8.661
2022	7.109	2035	8.780
2023	7.247	2036	8.898
2024	7.383	2037	9.014

Fonte: PMBP, 2011

A Tabela 8 apresenta o valor do consumo per capita de água já com o coeficiente de retorno inserido (0,8) como demonstram os autores Alem Sobrinho; Tsutiya, (1999) e Von Sperling, (2011) corroborado pelo PMSB (2015). A Tabela 8

também apresenta os dados de população encontrados nos projetos e a vazão máxima de projeto, bem como o ano de projeção utilizado.

Tabela 8 – Dados de volume per capita de água por dia e população projetada utilizados para o cálculo de esgoto gerado.

Localidade	Per capita água (L/dia)	População projetada (hab)	Vazões máximas de Projeto ETE's (L/s)	Ano considerado
Distrito Sede	136,80	30.214	62,46	2030
Ipiabas	211,73	6.970	27,66	2021
Califórnia da Barra	136,80	22.107	57,00	2028

Fonte: A autora, 2023.

A partir dos dados apresentados na Tabela 8, a Tabela 9 foi gerada com os dados dos cálculos feitos baseados na própria projeção de população dos projetos de esgotamento sanitário relacionando com o total tratado por dia caso todas as ETEs estivessem em funcionamento.

Tabela 9 – Resultados para o total de esgoto gerado e tratado por dia em 2021

Localidade	Total Gerado (m³/dia)	Total tratado/dia (m³/dia)	Diferença (m³/dia) (tratado – gerado)
Distrito Sede	4.133,275	5.396,544	1.263,269
Ipiabas	1.475,758	2.389,824	914,065
Califórnia da Barra	3.024,237	4.924,800	1.900,562

Fonte: A autora, 2023.

Observa-se que todos os projetos ainda se enquadram para a população que foram estudados para abranger.

Porém, cabe ressaltar que, para o distrito sede, o cálculo foi realizado considerando a população estimada para 2030 e para Califórnia da Barra, o ano de 2028, pois não foi apresentada uma Tabela ano a ano, e sim, somente do ano inicial e final, por isto, mesmo que estejamos em 2023 e a taxa de crescimento desta área tenha um acréscimo, é necessário revisar as tecnologias, a vazão de tratamento ou

a determinação de um novo projeto de tratamento de esgoto sanitário para esta região, tendo em vista que é no distrito Sede que existe um movimento populacional mais intenso.

De acordo com os cálculos na Tabela 9, na área de diferença entre o valor do esgoto tratado menos o gerado, quando o distrito Sede, mais precisamente nos bairros alcançados pelo projeto, aumentar em 9.234 pessoas, as ETEs não comportarão o volume produzido de esgoto. Para os distritos de Ipiabas e Califórnia, as ETEs só conseguirão atender mais 4.317 e 13.892 pessoas respectivamente.

Um dado que demonstra a deficiência do tratamento de esgoto sanitário no município é o cálculo a partir da população total da cidade, 101.139 habitantes segundo o SNIS (2022), e a verificação do esgoto gerado baseado no consumo per capita que é de 80% de 171L/hab.dia. O valor encontrado de esgoto gerado foi de 13.835,82 m³/dia e caso as ETE's analisadas neste trabalho estivessem em funcionamento, ainda sobrariam 1.124,65 m³/dia de esgoto coletado sem tratamento.

Lima e Abreu (2004) constataram em seu trabalho sobre possíveis falhas nos projetos básicos são frequentemente responsáveis pela ocorrência de complicações durante a etapa de construção, podendo em certas situações acarretar em perdas significativas para os cofres públicos.

5.4 Discussões sobre os projetos já existentes

Soluções que tenham como objetivo auxiliar a realização das metas estabelecidas para a universalização dos serviços de coleta e tratamento do esgotamento sanitário devem ser bem recebidas, uma vez que projetos de infraestrutura de saneamento são complexos e requerem uma abordagem diversificada. Uma solução que funcione em uma localidade ou empresa pode não ser adequada em outra, devido às particularidades envolvidas no processo de implementação de projetos de saneamento de longo prazo. A necessidade da sociedade por saneamento básico é crescente, mas o poder público enfrenta dificuldades em atender às suas muitas responsabilidades, tornando essencial a busca constante por alternativas viáveis que possibilitem a ampliação da infraestrutura de saneamento em nosso país (CRESPO; LOPES, 2019).

Os resultados acerca da qualidade do principal rio do município, Paraíba do Sul, demonstram a necessidade de preservação do mesmo, tendo em vista que o IQA apresentou piores faixas ao longo dos anos. Em relação à vazão do esgoto gerado e a do esgoto a ser tratado pelas ETEs, os resultados demonstraram aptidão para a continuidade do projeto, considerando que a projeção populacional se encontra superdimensionada, então, além das redes existentes, poderiam ser criadas novas redes para atingir uma maior área não contemplada no projeto inicial.

Em todos os quesitos avaliados, os projetos básicos existentes são válidos e podem servir de auxílio para o órgão gestor tomar decisões acerca do tema.

Cabe ressaltar que, o método de projeção de população utilizado nos projetos, pode acarretar maior ônus ao órgão gestor. Portanto, antes que estes documentos sejam utilizados, é recomendado que o ajuste para a metodologia AiBi seja feito.

5.5 Relatório Técnico – Produto da Dissertação

O Relatório técnico na íntegra pode ser visualizado no Apêndice A.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O intuito do trabalho foi avaliar a possibilidade de reutilização dos projetos de esgotamento sanitário elaborados frente ao crescimento populacional na cidade de Barra do Piraí, tendo em vista que os estudos feitos nos projetos são datados nos anos de 2009, 2010 e 2011. Cabe ressaltar que para embasamento da justificativa da necessidade de tratamento de esgoto sanitário no município, foi apresentado no trabalho um índice de qualidade de água (IQA-CCME) com dados relacionados à qualidade de água do rio Paraíba do Sul no trecho de Barra do Piraí no período de 2010 a 2014 (Grupo 1) e 2016,2017,2019,2021 e 2022 (Grupo 2) onde concluiu-se que a água do corpo hídrico estudado está em degradação.

A partir da demonstração do índice de qualidade de água, foi possível notar o declínio na qualidade hídrica, o que pode ser justificado pelo crescimento populacional e o aumento de carga orgânica in natura que é despejada nos principais rios da cidade: Piraí e Paraíba do Sul.

Cabe ressaltar que a amostragem para cada ano ser apenas uma, foi necessário dividir o período em dois grupos como já citado anteriormente.

Ainda sobre o índice de qualidade de água, o IQA CCME se mostrou com grande potencial para ser utilizado em Barra do Piraí por conta de sua adaptabilidade em diferentes parâmetros.

O cálculo da estimativa per capita foi realizado a fim de comparar com as vazões das ETE's dimensionadas em cada projeto.

Pode-se verificar nos cálculos de estimativa de consumo de água per capita que a micromedição é importante para a gestão de recursos hídricos de uma cidade. Além disto, é interessante que se tenham cadastrados os poços já existentes nas residências da cidade.

De acordo com os quesitos analisados, todos os projetos ainda são válidos, porém, é indicado que a projeção populacional seja refeita considerando o método AiBi, que foi o que mais se adequou conforme a taxa de crescimento populacional da cidade, além de promover uma redução de gastos na concepção do projeto.

Um dado que demonstra a deficiência do tratamento de esgoto sanitário no município é o cálculo a partir da população total da cidade, 101.139 habitantes segundo o SNIS (2022), e a verificação do esgoto gerado baseado no consumo per

capita que é de 80% de 171L/hab.dia. O valor encontrado de esgoto gerado foi de 13.835,82 m³/dia e caso as ETE's analisadas neste trabalho estivessem em funcionamento, ainda sobrariam 1.124,65 m³/dia de esgoto coletado sem tratamento.

Portanto, mesmo com a revisão dos projetos realizada nesta dissertação, novas ETEs devem ser projetadas a fim de atingir a universalização do tratamento de esgoto sanitário no município. Com isto, a qualidade de água dos rios Paraíba do Sul, Piraí e todos os afluentes destes dois aumentaria, além de melhorar a qualidade de água para o tratamento e abastecimento na cidade do Rio de Janeiro.

REFERÊNCIAS

- AEGEA. *Procedimento de Manifestação de Interesse*. Prefeitura Municipal de Barra do Piraí, 2017.
- ALEM SOBRINHO, P.; TSUTIYA, M. T. *Coleta e transporte de esgoto sanitário*. 1. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1999.
- ALVES, M. T. R., TERESA, F. B., NABOUT, J. C. *A global scientific literature of research on water quality indices: trends, biases and future directions*. Acta Limnologica Brasiliensia, 2014, vol. 26, no. 3, p. 245-253. Disponível em: <https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S2179975X2014000300004&script=sci_abstract>. DOI: 10.1590/S2179-975X2014000300004>. Acesso em: 16 mar. 2022.
- AMÉRICO-PINHEIRO, J. H. P.; VANZELA, L. S.; CASTRO, C. V., MANSANO, C. F. M.; TAGLIAFERRO, E. R. *A gestão das águas no Brasil: uma abordagem sobre os instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos*. Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades, v. 7, n. 53, 2019.
- ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. *Outorga de direito de uso de recursos hídricos*. Brasília: SAG, 2011. 50 p.
- _____. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. *Planos de recursos hídricos e enquadramento dos corpos de água*. Brasília: ANA, 2013. 68 p.
- _____. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. *Sistemas de informação na gestão de águas: conhecer para decidir*. Brasília: ANA, 2016. 122 p.
- _____. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. *Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas*. Brasília, 2017.
- _____. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. *Portal da qualidade das águas*. Brasília, 2022. Disponível em <<http://pnqa.ana.gov.br/enquadramento-bases-conceituais.aspx>>. Acesso em: 12 dez. 2022.
- APHA - American Water, Works Association and World Environment Federation. *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*, 22nd and 23rd Edition, American Public Health Association. Washington DC, 2005.
- AZEVEDO, J. S. *Qualidade da água bruta e tratada nos municípios Resende, Porto Real, Barra Mansa, Volta Redonda e Pinheiral, abastecidos pelo rio Paraíba do Sul*. 2021. 361 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) – Centro de Tecnologia e Ciências, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.
- BARBADO, N.; LEAL, A. C. *Cooperação global sobre mudanças climáticas e a implementação do ODS 6 no Brasil*. Research, Society and Development, v. 10, n. 3, p. e29110313290-e29110313290, 2021.

BINDA, T. E. de L. T. *Objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) como política pública: estudos de caso do município de Serra-ES*. In: nan. Santa Teresa, 2021.

BELLINASSO, T. B.; SCHNEIDER, V. E. *Tratamento de esgoto por sistemas simplificados*. Brazilian Journal of Animal and Environmental Research, v. 3, n. 3, p. 1006-1017, 2020.

BRASIL. Lei nº 9433 de 8 de janeiro de 1997. *Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989*. Disponível em:

<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm>. Acesso em: 05 abr. 2021.

_____. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. *Atualiza o marco legal do saneamento básico e dá outras providências*. Diário Oficial da União, 2020.

Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm> Acesso em: 15 fev. de 2021.

_____. Ministério da Saúde. *Doenças infecciosas e parasitárias Guia de bolso*.

Brasil, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/publicacoes-svs/doencas-diarreicas-agudas/doencas-infecciosas-e-parasitarias_-guia-de-bolso.pdf/view>. Acesso em: 5 jul. 2022.

BRITO, L. P. G.; CAVENAGHI, S.; JANNUZZI, P. *Estimativas e projeções populacionais para pequenos domínios: uma avaliação da precisão para municípios do Rio de Janeiro em 2000 e 2007*. Revista Brasileira de Estudos de População, v. 27, n. 1, p. 35-57, jan./jun. 2010.

CASIUCH, M.; MARRA, E. B.; LIMA JUNIOR, A. DE S.; CADETE, A. N. DE M., CASTRO, A. D.; ALCOFORADO, R. M. G. e SILVA, J. C. *Avaliação da Evolução e Perspectivas da Qualidade da Água no Rio Paraíba do Sul em Barra do Pirai-RJ*. XXIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos – ABRHIDRO. Belo Horizonte, Minas Gerais, 2021.

CBH-GUANDU. *Relatório Final do Plano Estratégico de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim (RF-01)*. Resende, RJ: Profill, 2018.

CBH-MPS. *Plano de Bacia da Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul (RH-III) / coordenação e elaboração: Comitê de Integração de Bacias Médio Paraíba do Sul (CBH-Médio Paraíba do Sul) – Resende, RJ: Profill, 2021.*

CCME - Canadian Council of Ministers of the Environment. Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: CCME Water Quality Index 1.0 *Technical Report*. Canadian Environmental Quality Guidelines. Canadian Council of Ministers of the Environment. Canada, 2001.

CEPAL – Comisión Económica para América Latina y El Caribe. *Estudos Avançados* 35 (102), 2021 205 Anuario Estadístico de América Latina y el Caribe 2013. LC/G.2582-P, Santiago, Chile: CEPAL/Naciones Unidas, 2014.

COELHO, A. S.; MARENZI, R. C.; IZA, O. B.; SOUZA, V. A. C.; LONGARETE, C. *Análise da estrutura espacial e funcional da paisagem aplicada ao planejamento da conservação da natureza no município de Itajaí*, Santa Catarina, Brasil. Geosul, v. 33, n. 66, p. 304-327, 2018.

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução do Conselho Nacional de 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*. República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 03 de abril de 2005. Disponível em: <http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLUCAO_CONAMA_n_357.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2021.

_____. Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008. *Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências*. República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 3 abr. 2008. Disponível em: <http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=545>. Acesso em: 10 abr. 2021.

_____. Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011. *Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005*. República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 13 de maio de 2011. Disponível em: <http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=627>. Acesso em: 22 mar. 2019.

CRESPO, S.; LOPES, A. F. *O Saneamento Não Pode Esperar*. p. 92, 2019.

COPPETEC. *Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro, PERHI-RJ. Relatório Síntese*. Rio de Janeiro, 2014. 125 p. Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/documents/document/zwew/mdgz/~edisp/inea0083952.pdf>>. Acesso em: 07 jun. 2022.

DAMASCENO, A. M.; SUCUPIRA JUNIOR, P. R.; SALGUEIRO, A. R. e DUARTE, C. R. *Interpolation methods applied to the population growth estimate*. Journal of Hyperspectral Remote Sensing, [s. l.], v. 9, n. 2, p. 80-87, 2019.

DO NASCIMENTO, P. H. R.; LATRILHA, J. V. L. *Estimativas da População de Cruz das Almas-Bahia, em 2020, utilizando os ajustes Linear, Exponencial e Sigmoidal*. Revista Eletrônica de Ciências Exatas e Tecnológicas, n. 3, 2022.

DOS SANTOS, R. O. *Projeções populacionais para pequenas áreas a partir de cenários econômicos: aplicação de ratio methods para a região do Alto Paraopeba-MG, 2010-2025*. 2010.

DORNELLES, F.; GOLDENFUM, J. A.; TASSI, R. *Metodologia para ajuste do fator esgoto/água para aproveitamento de água de chuva*. Rbrh: revista brasileira de recursos hídricos. Porto Alegre, RS, 2012.

FERREIRA, A. P. V. *Panorama atual do monitoramento da qualidade das águas e do uso de índices no Brasil. Estudo de caso: Ribeirão da Mata – Aplicação do IQA-CCME*. 2019. 115 f. Dissertação (mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (PROF-ÁGUA)) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

FÍGOLI, M. G. B.; ESPINOZA, L. L. R.; GONZAGA, M.; GOMES, M. M. F. *Aspectos metodológicos para a projeção de localidades intra-urbanas uma aplicação a Minas Gerais*. In: XVII ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS POPULACIONAIS 2010. Anais... Caxambu: Abep, 2010

FLORES, D. M. et al. *Epidemiologia da Leptospirose no Brasil 2007 a 2016*. Brazilian Journal Of Health Review, v. 3, n. 2, p. 2675-2680, 2020.

FREIRE, F. H. M. de A.; GONZAGA, M. R.; GOMES, M. M. F.. *Projeções populacionais por sexo e idade para pequenas áreas no Brasil*. Revista Latinoamericana de Población, v. 13, n. 26, p. 124-149, 2019.

GOMES, H. P. *Sistemas de Abastecimento de Água: Dimensionamento Econômico e Operação de Redes Elevatórias*. v. 3, p. 13-16, 2009.

GOMES, M. M. F.; GONZAGA, M.; UMBELINO, G. M.; FÍGOLI, M. G. B.; RODRIGUES, R. N. *O “sertão nordestino” mineiro: caracterização e projeção populacional das microrregiões do Vale do Jequitinhonha, 2000-2030*. In: XIV SEMINÁRIO SOBRE A ECONOMIA MINEIRA. Anais... Diamantina, 2010.

GOMES, M. A. F. *Água: sem ela seremos o planeta Marte de amanhã*. 2011. Disponível em: <http://webmail.cnpma.embrapa.br/down_hp/464.pdf>. Acesso em: 08 jan 2023.

GONZÁLEZ, L. M.; TORRES, E. *Estimaciones de población en áreas menores en América Latina: revisión de métodos utilizados*. In: CAVENAGHI, S. (org.) *Estimaciones y proyecciones de población en América Latina. Desafíos de una agenda pendiente*, Asociación Latinoamericana de Población-ALAP, 2012

GRANZIERA, M. L. M. *Direito de Águas: disciplina jurídica de águas doces*. São Paulo: Atlas, 2001. 245 p.

HAMPE, Roberta Ferrão. *O desafio de pequenos municípios constituírem projetos de implantação de esgotos sanitários: estudo de caso do município Liberato Salzano*, 2015.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. *Abastecimento de água para consumo humano*. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2010.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Projeções da População: Brasil e Unidades da Federação. Série Relatórios Metodológicos*, V. 40. Rio de Janeiro, Fundação IBGE, 2013.

_____. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Barra do Piraí - Panorama*. Brasil, 2016. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/barra-do-pirai/panorama>>. Acesso em: 27 jun. 2022.

_____. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Santos - Panorama*. Brasil, 2016. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/santos/panorama>. Acesso em: 26 jun. 2022.

_____. *Cidade - História e Fotos*, 2017. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/barra-do-pirai/historico>>. Acesso em: 14 jun. 2022.

_____. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Estimativas da população residente para os municípios e para as unidades da Federação com data de referência em 1º de julho de 2018*. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101609.pdf>>. Acesso em: 14 mar. 2022.

_____. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Contas econômicas ambientais da água: Brasil: 2013 – 2015*. Brasil, 2018. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101555_informativo.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2022.

_____. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Cidades e Estados*. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados.html?view=municipio>>. Acesso em, 20 abr. 2022.

_____. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Malha de Setores Censitários, 2022*. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/26565-malhas-de-setores-censitarios-divisoes-intramunicipais.html?=&t=o-que-e>>. Acesso em: 26 jun. 2022.

INEA. Instituto Estadual do Ambiente. *Boletim Consolidado de Qualidade das Águas da Região Hidrográfica III - Médio Paraíba Do Sul, 2021*. Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/rh-iii-medio-paraiba-do-sul/>>. Acesso em: 12 dez. 2022.

INSTITUTO TRATA BRASIL. *Ranking do Saneamento (SNIS 2020)*. São Paulo, 2022. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/images/estudos/Ranking_do_Saneamento_2022/Relat%C3%B3rio_do_RS_2022.pdf>. Acesso em: 21 jun. 2022.

JANNUZZI, P. M. *Cenários futuros e projeções populacionais para pequenas áreas: método e aplicação para distritos paulistanos 2000-2010*. Revista Brasileira de Estudos de População, v. 24, n. 1, p. 109-137, 2007.

LAM, D. *How the world survived the population bomb: lessons from 50 years of extraordinary demographic history*. Demography, v. 48, n. 4, p. 1231-1262, 2011.

LIMA, F. G. F.; DE ABREU, G. H. F. G.. *Análise de projetos de abastecimento de água e de esgotamento sanitário*. Revista do TCE-PE, v. 15, n. 15, p. 185-194, 2004.

MADEIRA, J. L.; SIMÕES, C. C. da S. *Estimativas preliminares da população urbana e rural segundo as unidades da federação, de 1960/1980 por uma nova metodologia*. Revista Brasileira de Estatística, Rio de Janeiro: IBGE, v. 33, n. 129, p. 3-11, jan./mar. 1972.

MADUREIRA, M. T. *Aplicação da simulação de processos como ferramenta de apoio aos projetos de tratamento de esgoto*. Dissertação de Mestrado. Universidade de Vassouras. Vassouras-RJ, 2019.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. *Água um recurso cada vez mais ameaçado*. 2005. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/sedr_proecotur/_publicacao/140_publicacao09062009025_910.pdf>. Acesso em: 23 jan. 2023.

_____. Ministério do Meio Ambiente. *Índices e Indicadores de Qualidade da Água – Revisão da Literatura. Monitoramento da Qualidade da Água como Instrumento de Controle Ambiental e Gestão dos Recursos Hídricos no Estado de Pernambuco*. Programa Nacional do Meio Ambiente II – PNMA II. Componente Desenvolvimento Institucional. Subcomponente Monitoramento de Qualidade da Água. Subprojeto Pernambuco. Recife, 2003. Disponível em: <<http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/indice-agua-volume1.pdf>>. Acesso em: 27 out. 2021.

MARANHÃO, N. *Sistema de Indicadores para Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos de Bacias Hidrográficas*. 2007. 397p. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

MENEZES, J. M.; DA SILVA JR, G. C.; PRADO, R. B. *Índice de Qualidade de Água (IQACCME) Aplicado à Avaliação de Aquíferos do Estado do Rio de Janeiro*. Águas Subterrâneas, v. 27, n. 2, 2013.

NAIME, R. *Principais Sistemas de esgotamento sanitário*. Revista Eletrônica Ecodebate, 2011. Disponível em <<https://www.ecodebate.com.br/2011/08/29/sistemas-principais-de-egotamento-sanitario-artigo-de-roberto-naime/>> Acesso em: 15 de Abril de 2021.

OBRACZKA, M.; MARQUES, C. F.; PINTO, S. de O. M. *“Avaliação do Estágio do Saneamento com base no Emprego de Indicadores: Estudo de Caso em Municípios da Região Hidrográfica III–Médio Paraíba Do Sul”*. III Simpósio de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul. Juiz de Fora, Minas Gerais, 2018.

OLIVEIRA, J.; FERNANDES, F. *Metodologia e Considerações acerca da Projeção de População do Brasil: 1980-2020*. São Paulo em Perspectiva, v. 10, n. 2, p. 116-123, 1996.

ONU - Organização das Nações Unidas. *Falta de saneamento básico mata 700 crianças abaixo de cinco anos por dia*, 2021. Disponível em: <<https://news.un.org/pt/story/2021/11/1771012>>. Acesso em: 24 mai. 2022.

PACHÁ, A. S. C. *Qualidade da água para consumo humano na Paraíba: sistemas de Informações para fins de vigilância e controle das doenças diarreicas agudas*. 2018. 70 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Universidade Federal da Paraíba - UFPB, Brasil, 2018.

PAULO, R. G. *Estimativa de uso de água a partir de cenários de uso e ocupação do solo urbano. Trabalho de Conclusão de Curso*. Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. Campina Grande, 2019.

PEREIRA, J. A. R.; MACIEL, E. F. M. *Determinação do consumo per capita de água em edifícios residenciais da região metropolitana de Belém para avaliar a tarifa de esgoto sanitário*. In: Anais do 20º Congresso de Engenharia Sanitária. Rio de. 1999. p. 3141-3148.

PEREIRA, R.; BISSANI, K. *A regularização do parcelamento do solo de loteamentos públicos: um estudo a partir do projeto do loteamento de interesse social Vila Betinho em Chapecó/SC*. Revista Brasileira de Políticas Públicas, v. 7, n. 2, 2017.

PICKARD, J. *Metropolization of the United States*. Washington, DC: Urban Land Institute (Land Institute Research Monograph), 1959.

PIROLI, E. L. *Água: por uma nova relação*. Jundiaí: Paco Editorial, 2016

PMBP. *Projeto Básico para a coleta e tratamento de esgotamento sanitário do distrito da Califórnia da Barra em Barra do Piraí*. Barra do Piraí, 2009.

_____. *Projeto Básico para a coleta e tratamento de esgotamento sanitário do distrito sede em Barra do Piraí*. Barra do Piraí, 2010.

_____. *Projeto Básico para a coleta e tratamento de esgotamento sanitário do distrito de Ipiabas em Barra do Piraí*. Barra do Piraí, 2011.

_____. *Plano Municipal de Saneamento Básico de Barra do Piraí/RJ. Realização: Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (AGEVAP)*. Barra do Piraí, 2015.

_____. Portal da Prefeitura Municipal de Barra do Piraí. *Relatório – Parecer Técnico de Qualificação, Ranqueamento, Seleção e Consolidação do Estudo para Implementação do Certame Licitatório*, 2018. Disponível em: <<http://transparencia.portalbarradopirai.com.br/images/documentos/Parecer%20Barra%20do%20Pirai.pdf>>. Acesso em: 01 jan 2021.

_____. Portal da Prefeitura Municipal de Barra do Piraí. *Aspectos geográficos - Localização*, 2022. Disponível: <https://www.barradopirai.rj.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=7&Itemid=182>. Acesso em: 20 jun. 2022.

_____. Portal da Prefeitura Municipal de Barra do Piraí. *Ipiabas*, 2022. Disponível em: <https://www.barradopirai.rj.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=125&Itemid=251>. Acesso em: 01 mai. 2022.

_____. Portal da Prefeitura Municipal de Barra do Piraí. *Califórnia da Barra*, 2022. Disponível em: <https://www.barradopirai.rj.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=129&Itemid=249>. Acesso em: 01 mai. 2022.

_____. *Memorando da Vigilância Epidemiológica de Barra do Piraí/SIVEP-DDA*, 2023.

PMS. Prefeitura Municipal de Santos. *Boletim Epidemiológico de Santos - Edição nº 3*. Santos-SP, 2021

ROQUE, O. C. da C. *Tratamento de Esgotos Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente – DESMA*, Universidade de Estado do Rio de Janeiro, 2006.

SABESP. SANEAMENTO BASICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. São Paulo, 2015. Disponível em: http://site.sabesp.com.br/uploads/file/asabesp_doctos/cartilha_fecomercio.pdf/ Acesso em: 24 de fev de 2023.

SANTOS, G. B. *Pré-dimensionamento da rede coletora de esgoto sanitário do município de Rio Bonito do Iguçu*. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Paraná, 2022.

SANTOS, P. R. P. *Metodologia para a tomada de decisão sobre a utilização de água subterrânea para abastecimento público no entorno das áreas urbanas industrializadas*. 2016. 335p. Tese (Doutorado em Ciências) Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

SHARMA, S. K.; VAIRAVAMOORTHY, K. *Urban water demand management: prospects and challenges for the developing countries*. Water and Environmental Journal, n. 23. p. 210-218. The Netherlands, 2009.

SILVEIRA, Livia Garcia. *Estudo comparativo da utilização do IQA-NSF e IQA-CCME para análise da qualidade da água no estado do Rio De Janeiro*. 2018. 93f. Dissertação - Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (PROF-ÁGUA), Centro de Tecnologia e Ciências, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

SIGA CEIVAP. *Sistema de Informações Geográficas e Geoambientais da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul*, 2022. Disponível em: <https://sigaaguas.org.br/sigaweb/apps/ceivap/>. Acesso em: 4 jul. 2022.

SIGA GUANDU. *Sistema de Informações Geográficas e Geoambientais das Bacias Hidrográficas dos Rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim*, 2022. Disponível em: <https://sigaaguas.org.br/sigaweb/apps/guandu/>. Acesso em: 28 jun. 2022.

SILVA, R. A. S. et al. *Aplicação de um Índice de Qualidade de Água para o sistema de abastecimento público*. Scientia Plena, v. 13, n. 10, 2017.

SIMONETTI, Vanessa Cezar et al. *Análise da influência das atividades antrópicas sobre a qualidade da água da APA Itupararanga (SP)*, Brasil. Geosul, v. 34, n. 72, p. 01-27, 2019.

SMAE. Secretaria Municipal de Água e Esgoto de Barra do Piraí. *Notas Técnicas*. 2022.

SMAMB. Secretaria Municipal do Ambiente de Barra do Piraí. *Notas Técnicas*. 2022.

SMITH, S. K; TAYMAN, J.; SWANSON, D. A. *State and local population projections: methodology and analysis*. New York: Kluwer: Plenum, 2001. 426 p.

SNIS - Sistema Nacional De Informações Em Saneamento. *Diagnóstico dos serviços de água e esgotos - Tabelas, Planilhas_AE2018_Completa_LPU* – 2018. Brasília. Ministério do Desenvolvimento Regional, 2019. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-agua-e-esgotos/diagnostico-dos-servicos-de-agua-e-esgotos-2018>>. Acesso em: 10 fev. 2021.

_____. Sistema Nacional De Informações Em Saneamento. *Diagnóstico dos serviços de água e esgotos - Tabelas, Planilhas_AE2019_Completa_LPU* – 2019. Brasília. Ministério do Desenvolvimento Regional, 2020. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-agua-e-esgotos/diagnostico-dos-servicos-de-agua-e-esgotos-2019>>. Acesso em: 10 fev. 2021.

_____. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. *Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto – Visão Geral*. Ano de Referência: 2020. Brasília, 2021. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnosticos>>. Acesso em 10 abr 2022.

_____. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. *Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto – Visão Geral*. Ano de Referência: 2021. Brasília, 2022. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnosticos>>. Acesso em 02 jan 2023.

_____. *Um guia essencial para entender o saneamento básico no Brasil*, 2022. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/>. Acesso em: 27 jun. 2022.

STOTO, M. *The accuracy of population projections*. Journal of the American Statistical Association, v. 78, p. 13-20, Mar. 1983.

STRADA, Débora Camargo. *Aplicação do IQA-CCME em série histórica de qualidade da água: Estudo de Caso das sub-bacias do Arroio do Salso e do Arroio Lami*, RS. 2021.

SZMRECSÁNYI, T. (Org.). *Thomas Robert Malthus: economia*. São Paulo: Ed. Ática, 1982

TCE - Tribunal de Contas do Estado do Rio de Janeiro. *Estudos Socioeconômicos Municípios do Estado do Rio de Janeiro - Barra do Piraí*, 2018.

TSUTIYA, M. T. *Abastecimento de Água*. 3a. Edição. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006

VON SPERLING, Marcos. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. Editora UFMG, 2011.

WALDVOGEL, B. *Técnicas de projeção populacional para o planejamento regional*. Belo Horizonte: UFMG/Cedeplar, 1998.

APÊNDICE A – Produto da Dissertação: Relatório Técnico



Informações sobre projetos
de esgotamento sanitário

RELATÓRIO TÉCNICO

Escrito por
Elisa Marra

ProfÁgua



LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Localização do município de Barra do Piraí, em destaque, no estado do Rio de Janeiro.....	113
Figura 2 –	Representação da distribuição do município de Barra do Piraí na RH II - dos rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim (vermelho) - e RH III - do Médio Paraíba do Sul (cinza).....	114
Figura 3 –	Delimitações dos distritos (amarelo) e áreas dos projetos (verde) que serão estudados e representação das Regiões Hidrográficas em Barra do Piraí.....	115
Tabela 1 –	Frequência de casos de diarreia em Barra do Piraí de 2010 a 2022.....	116
Figura 4 –	Foz do rio Piraí próximo ao rio Paraíba do Sul. No centro da cidade de Barra do Piraí, com lançamentos pontuais de esgoto doméstico...	117
Figura 5 –	Município de Barra do Piraí com a demarcação dos distritos com projetos elaborados de ETEs.....	119
Figura 6 –	Localidade contemplada com o projeto do distrito sede.....	120
Figura 7 –	Localidade contemplada com o projeto do distrito de Ipiabas.....	122
Figura 8 –	Aumento da imagem para a verificação do lodo no decantador da ETE.....	123
Figura 9 –	Áreas do distrito da Califórnia e do projeto elaborado e construído....	124
Figura 10 –	ETE Califórnia da Barra.....	125
Figura 11 –	ETE Manibra localizada no distrito da Califórnia da Barra.....	126
Quadro 1 –	Informações sobre os dados de população e tipos de tratamento apresentadas nos projetos de saneamento em estudo.....	126
Figura 12 –	Organograma das etapas metodológicas deste trabalho.....	127
Figura 13 –	Trecho com os pontos de captação de água bruta e aplicação do cálculo do IQACCME (triângulos).....	129
Tabela 2 –	Resultado do índice de qualidade de água CCME com suas classificações e valor encontrado entre parênteses.....	129
Figura 14 –	Gráficos de Evolução do IQANSF-INEA e IQABascarán de 2010 a 2019 em Barra do Piraí.....	131

Figura 15 – Esquema de parte da cidade de Barra do Piraí com os rios estudados.....	132
Quadro 2 – Resumo de fórmulas de métodos para projetar a população.....	134
Tabela 3 – Análise do horizonte de estudo e as projeções que foram utilizadas..	135
Figura 16 – Gráfico da projeção populacional de todo o município de Barra do Piraí segundo os diferentes métodos de projeção populacional adotados no estudo.....	136
Figura 17 – Gráfico da taxa de crescimento populacional de Barra do Piraí.....	137
Tabela 8 – Dados de volume per capita de água por dia e população projetada utilizados para o cálculo de esgoto gerado.....	140
Tabela 9 – Resultados para o total de esgoto gerado e tratado por dia em 2021.....	140

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	110
1	BARRA DO PIRÁI E O ESGOTAMENTO SANITÁRIO	113
1.1	Localização	113
1.2	Saúde	115
1.3	O esgotamento sanitário na cidade de Barra do Piráí	116
1.4	Projetos de construção de ETEs elaborados para a Prefeitura Municipal de Barra do Piráí	118
1.4.1	<u>Descrição do projeto para o Distrito Sede</u>	119
1.4.2	<u>Descrição de projeto para o Distrito de Ipiabas</u>	121
1.4.3	<u>Descrição do projeto para o Distrito da Califórnia da Barra</u>	122
2	MÉTODOS, RESULTADOS E DISCUSSÕES	127
2.1	Qualidade de água de acordo com o IQA CCME	128
2.2	Análises dos projetos e cálculo de projeções de população	133
2.3	Estimativa per capita do consumo de água potável	138
	CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES	142
	REFERÊNCIAS	144

INTRODUÇÃO

O município de Barra do Piraí possui área territorial de 578,47 km² e está localizado na região do Médio Paraíba, a população, de acordo com a projeção do IBGE, em 2021, era de 101.139 mil habitantes (IBGE, 2022). A cidade está inserida em duas bacias hidrográficas, sendo em maior parte na Região Hidrográfica III - Médio Paraíba do Sul e uma pequena parte na Região Hidrográfica II – dos Rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim.

A cidade, tem seu esgoto tratado de forma ineficiente e sem monitoramento no único local (Califórnia da Barra) onde existe uma ETE em funcionamento. Os despejos ocorrem de forma pontual em vários locais dos rios Paraíba do Sul e Piraí, principalmente, este último sendo afluente do primeiro. A população, por sua vez, cresce cada vez mais, tornando o volume do esgoto despejado sem tratamento nos corpos hídricos ainda mais devastador.

De acordo com o Instituto Estadual do Ambiente (INEA) o índice de qualidade de água em estações de monitoramento em Barra do Piraí, mais precisamente uma próxima à barragem de Santa Cecília e outra próxima à Estação de Tratamento de Água (ETA) do Bairro Coimbra, vem piorando ao longo do tempo (INEA, 2021). O município conta com 10 ETAs para abastecimento público, sendo destas, 6 captam água no principal manancial que cruza a cidade: o rio Paraíba do Sul. Ao todo, no município, são aproximadamente 237 L/s de água bruta que passa pelo tratamento convencional, ou seja, floculação, decantação, filtração e desinfecção.

O número de internações devido a diarreias em Barra do Piraí no ano de 2016 foi 1,9 para cada 1000 habitantes, já para a cidade de Santos em São Paulo, que era o primeiro colocado no *ranking* do saneamento do Instituto Trata Brasil em 2022, o dado apresentado para a mesma condição em 2016 foi de 0,1 para 1000 habitantes, relacionando assim, a saúde ao saneamento básico.

Com o intuito de universalizar o Saneamento Básico e melhorar a qualidade de vida das pessoas, o Novo Marco Legal foi sancionado através da Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020 (Brasil, 2020), onde abrange uma série de regulamentações com o objetivo de aprimorar as condições de saneamento básico no Brasil, estabelecendo novas metas para universalização do acesso aos serviços de

saneamento, tais como 90% da população com acesso à coleta e tratamento de esgoto até 31 de dezembro de 2033 e 99% da população com acesso à água tratada até a mesma data. Desta forma, os gestores e tomadores de decisão de órgãos públicos devem realizar um planejamento a fim de cumprir as metas no tempo determinado.

Além das metas do Marco do Saneamento, existem os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) que foram estabelecidos pela ONU em 2015 com o objetivo de alcançar um mundo mais justo, igualitário e sustentável até 2030. São compostos por 17 metas interconectadas que abrangem diversas áreas, como erradicação da pobreza, saúde, educação, igualdade de gênero, energia limpa, inovação, entre outras. Os ODS 6, 9 e 3, relacionados a este trabalho, são objetivos específicos que visam melhorar a qualidade de vida das pessoas em áreas chave, como acesso à água potável, infraestruturas resilientes, promoção da industrialização inclusiva e sustentável, saúde e bem-estar. Esses objetivos são fundamentais para garantir uma sociedade mais justa e sustentável, que proporcione um futuro melhor para todos. A importância dos ODS está em sua capacidade de unir países, organizações e indivíduos em prol de um objetivo comum e universal, ajudando a reduzir a desigualdade social e promovendo um desenvolvimento sustentável e equilibrado para o planeta (BARBADO e LEAL, 2021).

Alguns órgãos ao nível Federal e Estadual realizam a abertura de editais de financiamento para projetos de saneamento com a finalidade de que as cidades participem. Um dos objetivos desses editais é a viabilidade de construção de Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) por meio de elaboração de projetos (básicos e executivos) por intermédio de empresas terceirizadas. Desta forma, Barra do Piraí já foi contemplada com pelo menos três projetos deste tipo, no entanto, somente um deles chegou na fase de construção, mas opera de forma ineficiente ou inexistente.

Um dos principais itens nestes projetos de saneamento é a projeção populacional e a escolha do método para a melhor curva que se adapta à realidade daquela localidade. Quando a Prefeitura ou outro órgão público tem em mãos estes tipos de projetos, podem participar de outros editais para fins da construção, porém, um empecilho encontrado é o superdimensionamento das ETEs e redes por conta da metodologia de crescimento populacional escolhida. Além de onerar os cofres

públicos, muitos projetos ficam arquivados por conta do tamanho do investimento a ser realizado.

O Plano Municipal de Saneamento Básico do município de Barra do Piraí foi lançado em 2015 e desde então, novas avaliações para a verificação do cenário do saneamento básico da cidade não foram feitas.

Portanto, o objetivo do trabalho é avaliar projetos de esgotamento sanitário já existentes de forma que possa ser verificado se a metodologia para a projeção de população nos projetos é adequada, além de comparar com a população atual com a projeção da época do projeto entregue. Como embasamento para a necessidade do tratamento de esgoto na cidade, o resultado do cálculo do índice de qualidade de água CCME será apresentado, para corroborar com a necessidade de proteção a nossos rios quanto à crescente poluição.

1. BARRA DO PIRAÍ E O ESGOTAMENTO SANITÁRIO

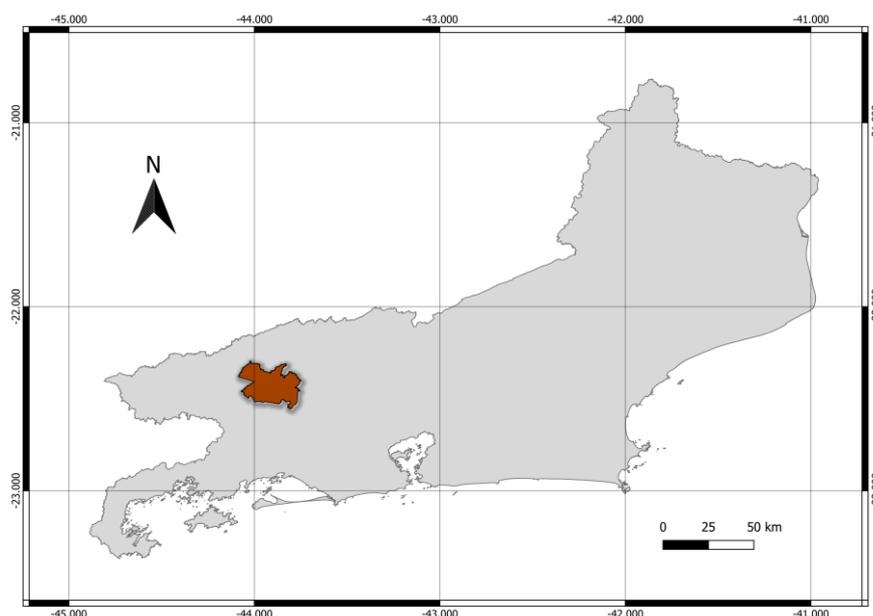
1.1 Localização

A cidade de Barra do Piraí está localizada na Região do Médio Paraíba (Figura 12), com uma área total de 578,47 km², correspondente a 9,4% da área da região onde está inserida (TCE, 2018).

Em 2021, a população estimada pelo IBGE no município era de 101.139 habitantes (IBGE, 2021). No censo demográfico realizado pelo mesmo instituto em 2010, a densidade demográfica era de 163,7 habitantes por km². A taxa de urbanização representava 97% da população. Em comparação com o censo do ano de 2000, a população do município aumentou 7,1%. De acordo com a pesquisa analisada, o município possuía 34.528 domicílios, dos quais 3% eram de uso ocasional (IBGE, 2021).

A Figura 1 mostra a cidade de Barra do Piraí em mapa, com intuito de localização do leitor.

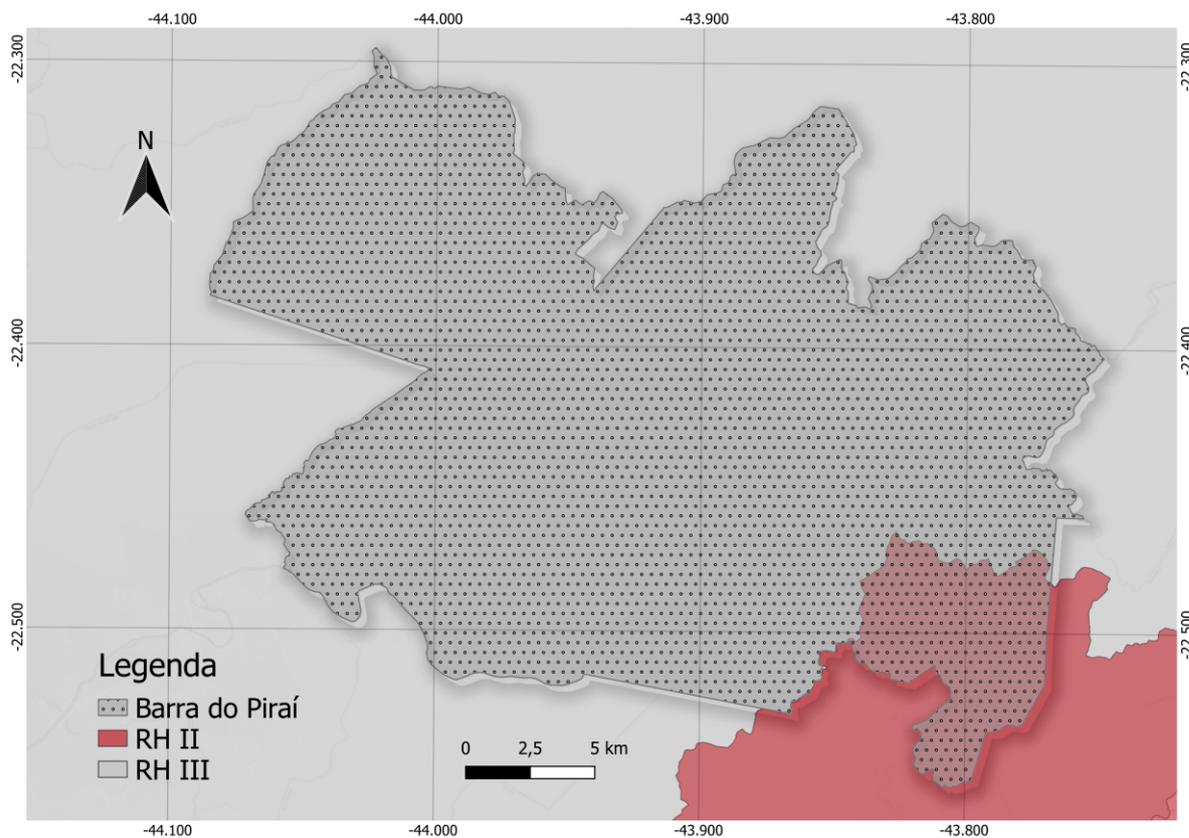
Figura 1 – Localização do município de Barra do Piraí, em destaque, no estado do Rio de Janeiro



Fonte: PMBP, 2022. (Adaptado pela autora)

O município está inserido em duas bacias hidrográficas, sendo em maior parte na Região Hidrográfica III - Médio Paraíba do Sul, e uma pequena parte na Região Hidrográfica II – dos rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim, conforme evidenciado na Figura 2 (PMBP, 2015).

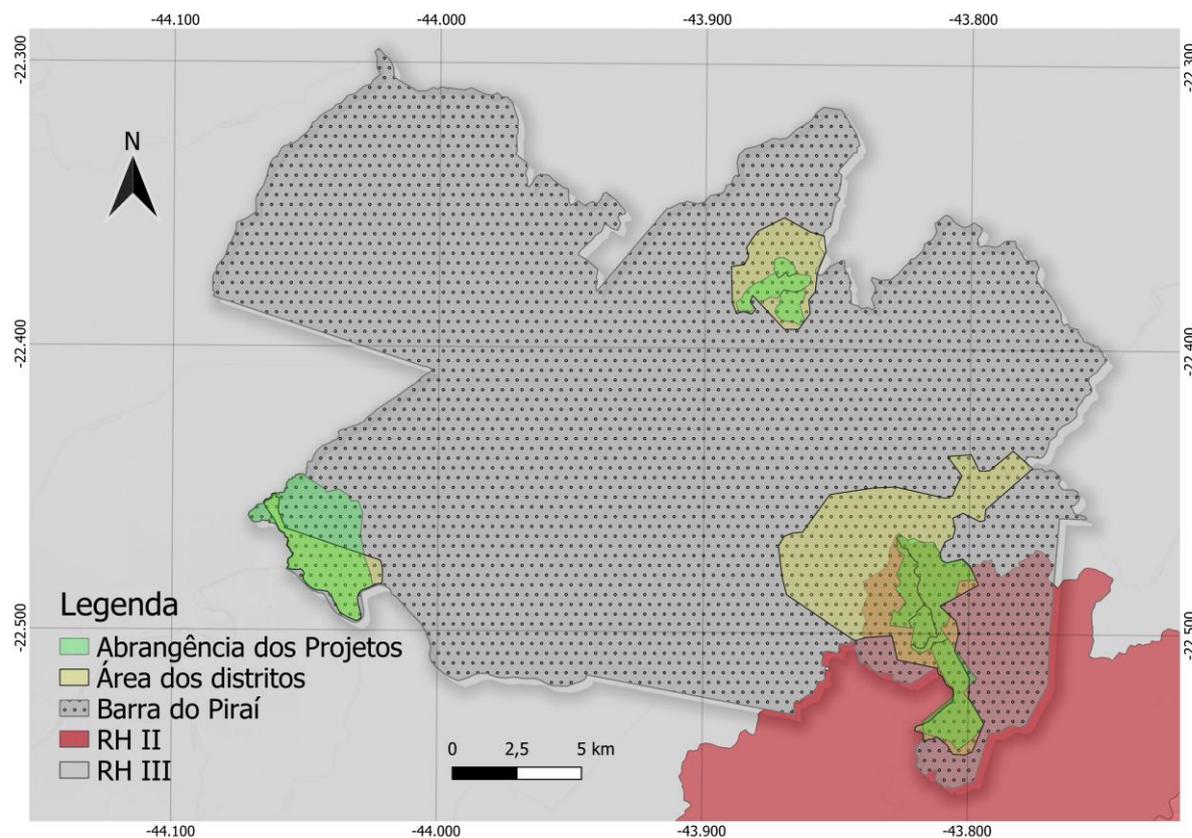
Figura 2 – Representação da distribuição do município de Barra do Pirai na RH II - dos rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim (vermelho) - e RH III - do Médio Paraíba do Sul (cinza)



Fonte: SIGA WEB CEIVAP; SIGA GUANDU, 2022

A Figura 3 apresenta a delimitação dos projetos e distritos que serão abordados neste trabalho, nas Regiões Hidrográficas apresentadas.

Figura 3 - Delimitações dos distritos (amarelo) e áreas dos projetos (verde) que serão estudados e representação das Regiões Hidrográficas em Barra do Pirai.



Fonte: SIGA WEB CEIVAP; SIGA GUANDU, 2022

1.2 Saúde

A taxa de mortalidade infantil média na cidade de Barra do Pirai em 2019 era de 12,33 para 1.000 nascidos vivos. A taxa de internações devido a diarreias em 2016 foi 1,9 para cada 1.000 habitantes. Comparando essas taxas com as dos demais municípios do estado do Rio de Janeiro, Barra do Pirai fica nas posições 39 de 92 e 14 de 92, respectivamente. Quando comparada a cidades do Brasil todo, essas posições são de 2243 de 5570 e 1604 de 5570, respectivamente (IBGE, 2019).

A Tabela 1 apresenta a frequência de casos de doença diarreica aguda em Barra do Piraí de 2010 a 2022.

Tabela 1 - Frequência de casos de diarreia em Barra do Piraí de 2010 a 2022

Ano	Número de casos
2010	263
2011	329
2012	825
2013	364
2014	935
2015	785
2016	976
2017	1507
2018	1498
2019	2303
2020	719
2021	642
2022	1281

Fonte: Vigilância Epidemiológica de Barra do Piraí/SIVEP-DDA (2023)

Conforme o Guia de Bolso do Ministério da Saúde sobre doenças infecciosas e parasitárias publicado em 2010, duas das medidas de controle para a diminuição de casos é a melhoria da qualidade da água e o destino adequado de resíduos sólidos e dejetos (Ministério da Saúde, 2010).

Portanto, a doença diarreica aguda pode estar associada às condições do meio em que determinada população está inserida, sendo relacionada até mesmo com as condições de infraestrutura e saneamento tratando-se, portanto, de um importante indicador epidemiológico e ambiental (FLORES *et al.* 2020).

1.3 O Esgotamento Sanitário na cidade de Barra do Piraí

O esgotamento sanitário da cidade de Barra do Piraí tem a operação realizada pela própria Prefeitura, por meio da Secretaria Municipal de Água e Esgoto (SMAE). Segundo o Plano Municipal de Saneamento Básico do município publicado em 2015, o percentual de coleta de esgoto era de 65%, onde, em muitos casos, esta

coleta é realizada por coletores mistos em conjunto com a drenagem de água pluvial, onde são direcionados ao corpo receptor sem qualquer tratamento prévio (AEGEA, 2017).

Em 2017, o gestor do município iniciou os trâmites para a concessão dos serviços de água e esgotamento sanitário, onde, em forma de licitação, uma empresa venceria e administraria estes serviços, com o intuito de melhoria do cenário. A partir disto, um Procedimento de Manifestação de Interesse (PMI) foi vencedor, onde demonstrou o diagnóstico dos serviços em pauta na cidade (PMBP, 2018).

Cabe ressaltar que de 2014 a 2017, duas ETEs foram construídas no distrito da Califórnia da Barra, porém, sem monitoramento. (PMBP, 2015; AEGEA, 2017). Desconsiderando o distrito com as ETEs, principalmente no distrito Sede, podem-se verificar diversos pontos de lançamentos pontuais de esgotamento sanitário. Os principais mananciais receptores deste despejo de efluentes in natura no município de Barra do Piraí são os rios Piraí, Paraíba do Sul, Sacra Família, Ipiabas, Turvo e das Flores; os ribeirões das Minhocas, Boa Esperança e do Inferno; e os córregos do Nora, das Flores e do Pocinho (AEGEA, 2017).

A Figura 4 evidencia o lançamento de esgoto no centro da cidade em um dos rios de maior importância da região, o rio Piraí, que é afluente do rio Paraíba do Sul.

Figura 4 – Foz do rio Piraí próximo ao rio Paraíba do Sul. No centro da cidade de Barra do Piraí, com lançamentos pontuais de esgoto doméstico



Fonte: A autora, 2022.

1.4 Projetos de construção de ETEs elaborados para a Prefeitura Municipal de Barra do Piraí

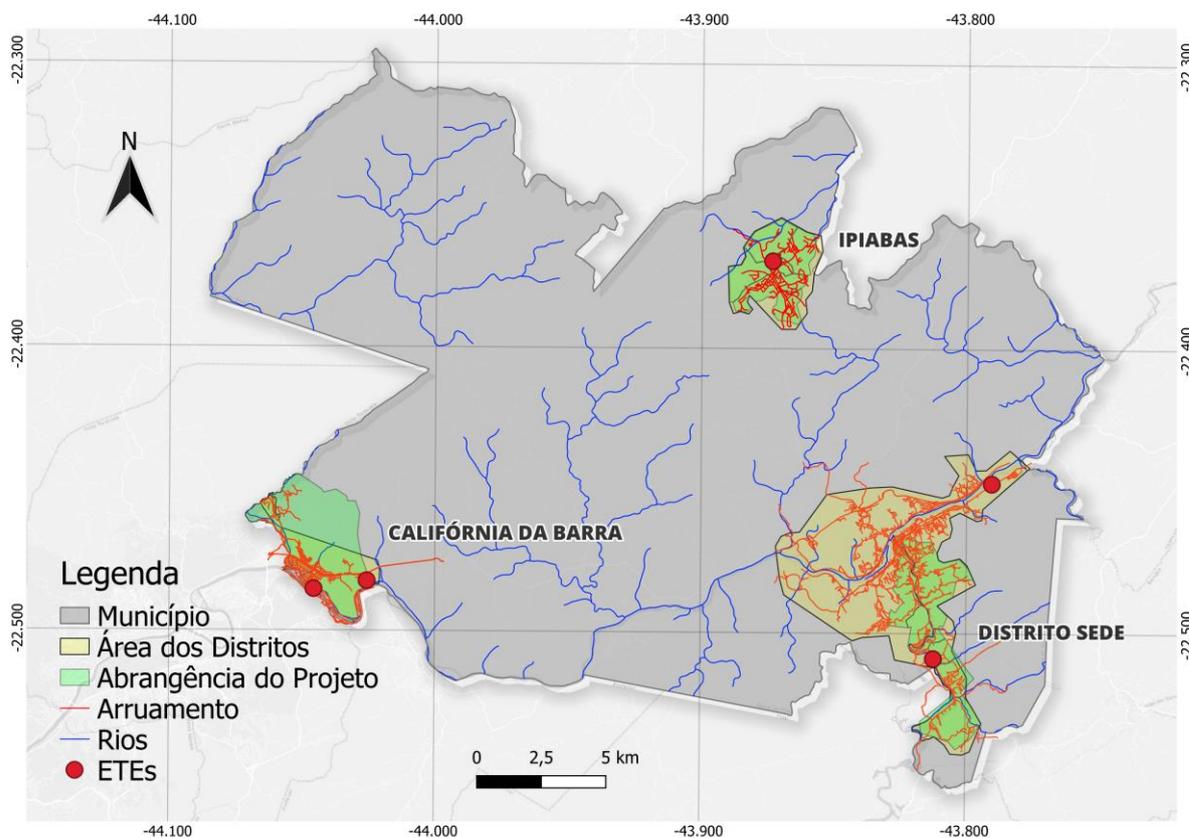
A Prefeitura Municipal de Barra do Piraí (PMBP) já participou de diversos editais com foco no tratamento de esgoto e redução da carga lançada nos rios que atravessam a cidade. A partir de então, este órgão público foi agraciado com projetos de construções de ETEs, tanto para o distrito sede, quanto para outros distritos localizados no município (SMAMB, 2022).

A Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Barra do Piraí (SMMA, 2022) possui em seus arquivos projetos que foram elaborados para a construção de ETEs no município, porém não foram implementados, especialmente por motivos financeiros (contrapartida do município), entre outros.

Em sua totalidade, de acordo com os projetos mais recentes em posse desta secretaria, somente um projeto foi construído e outros dois continuam arquivados. Cabe salientar, que as ETEs concluídas (2 no distrito da Califórnia da Barra) não possuem gestão, digo, licenças, monitoramento, descarte de lodo, etc. (SMAMB, 2022).

A Figura 5 apresenta o mapa da cidade de Barra do Piraí com a demarcação de cada projeto elaborado, em cada distrito.

Figura 5 – Município de Barra do Pirai com a demarcação dos distritos com projetos elaborados de ETEs



Fonte: A autora, 2022

1.4.1 Descrição do projeto para o Distrito Sede

O distrito sede é composto por 44 bairros, onde, de acordo com o projeto de saneamento elaborado em 2010, a coleta e o tratamento de esgoto abrangeriam 12 bairros.

É no distrito sede que se encontra a maior densidade populacional, ou seja, a maior geração de efluentes que conseqüentemente são lançados in natura em afluentes dos rios Pirai e Paraíba do Sul, ou até mesmo nos próprios rios principais que cruzam a cidade.

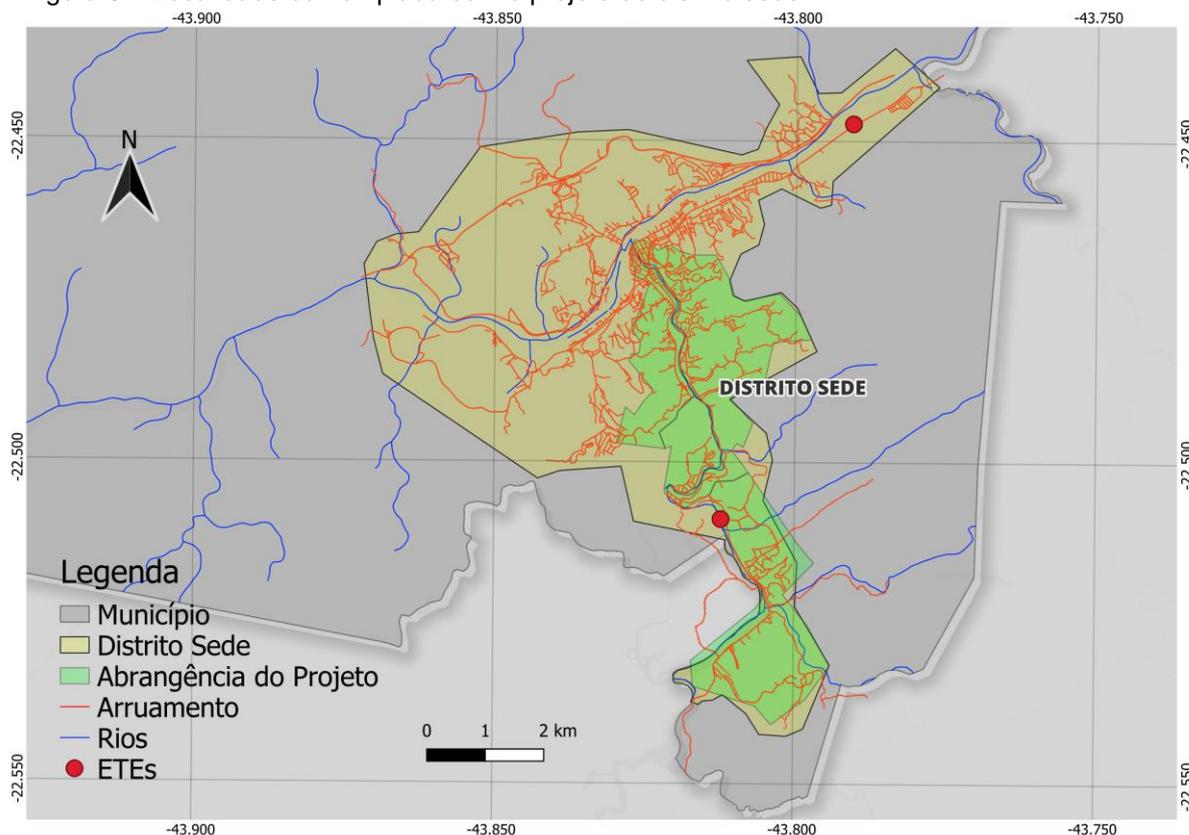
O projeto básico para o saneamento do distrito sede compreende a construção de duas ETEs e abrange os bairros: Chalet, Boca do Mato, Carvão, Areal, Boa Sorte, Morro do Gama, Santo Cristo, Santana de Barra, Vargem Grande, Parque Santana, Ponte Vermelha e Roseira. Propõe o sistema para o tratamento de

esgotamento sanitário, o dimensionamento hidráulico dos coletores troncos, das estações elevatórias, estações de tratamento e demais elementos do projeto, como travessias e elementos acessórios, entre outros.

A ETE compreendida no projeto para o bairro Vila Helena possui vazão de 15 L/s e a do bairro Ponte Vermelha de 47 L/s. Em ambas as ETEs, os sistemas de tratamento propostos foram: UASB (reator anaeróbico de fluxo ascendente) + Filtro aerado submerso + Decantador.

O corpo receptor em destaque neste documento é o rio Piraí, afluente do rio Paraíba do Sul. A Figura 6 apresenta a área do distrito sede (amarelo) e a área contemplada pelo projeto (verde).

Figura 6 – Localidade contemplada com o projeto do distrito sede



Fonte: A autora, 2022.

1.4.2 Descrição do projeto para o Distrito de Ipiabas

O distrito de Ipiabas é conhecido pelo turismo e localizado apenas a 16,6 km do distrito sede de Barra do Piraí. Ipiabas tem uma área total de 44,365 km², o clima ameno e os 750m de altitude contribuem para a grande visitação de turistas, que procuram Ipiabas para aproveitar o clima e o contato com a natureza.

Além de trilhas ecológicas, um dos atrativos naturais é a cachoeira de Ipiabas, formada por duas quedas, uma com 3,5 m de altura e a outra com 5 m.

A ligação com a história dos antigos barões do café também contribui para o crescimento do turismo cultural do município, recebendo vários eventos importantes no decorrer do ano. Os eventos do Circuito Vale do Café comprovam isso, já que o aumento da visitação de pessoas na cidade contribuiu para que a gastronomia e as pousadas ganhassem força no distrito para poder atender à demanda (PMBP, 2022).

O distrito ainda contará com diversas intervenções na gestão do atual Prefeito (2021 a 2024), que pretende fomentar ainda mais o turismo na região com o projeto intitulado “Ipiabas Cinco Estações”, onde prevê a visitação de turistas não somente no clima frio e, sim, todo o ano, com diversas atrações e eventos.

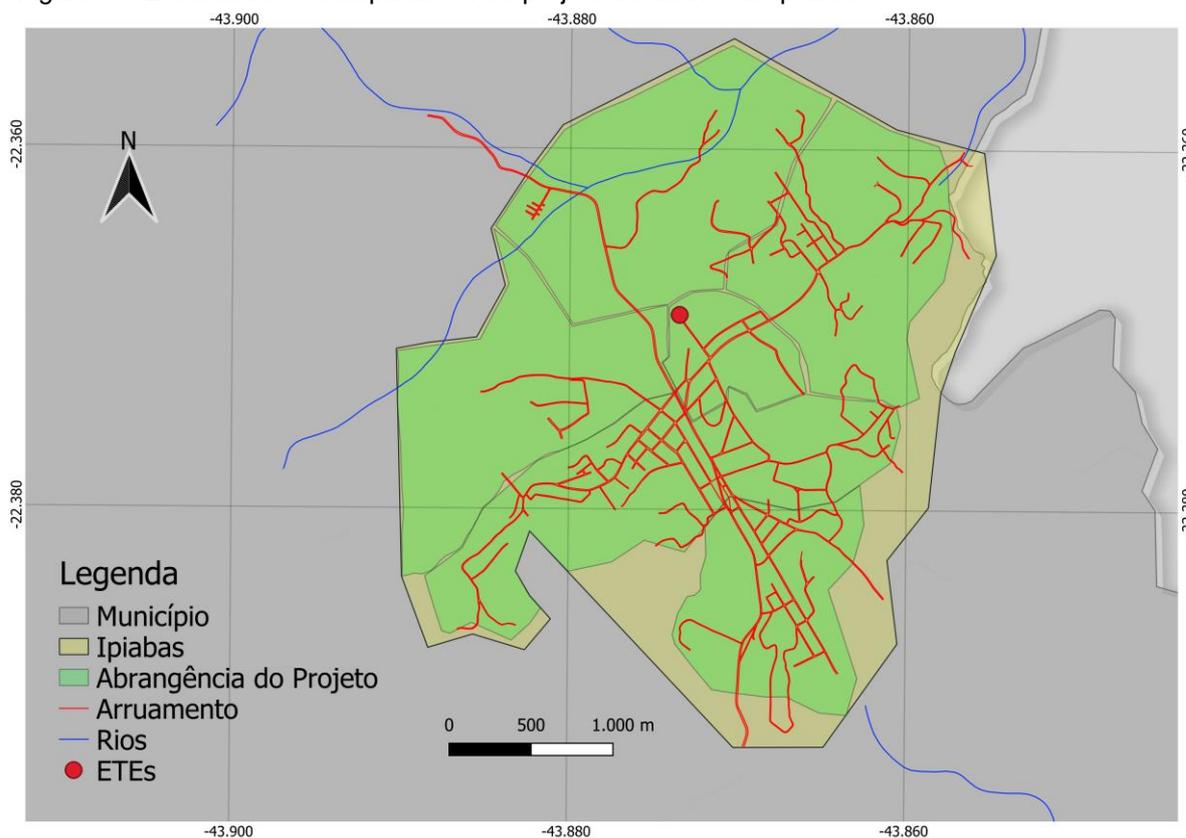
O projeto básico para atender a região urbana do distrito de Ipiabas foi elaborado por uma empresa de consultoria e engenharia em outubro de 2011. Neste documento, dados como: caracterização, estudos demográficos, serviços topográficos, estudo de concepção, projetos hidráulicos e orçamentos foram disponibilizados (PMBP, 2011).

Segundo dados repassados pela Prefeitura Municipal de Barra do Piraí, a população do distrito de Ipiabas seria de 10.000 habitantes em 2011, considerando a população residente e a flutuante, distribuída em hotéis, pousadas e casas de veraneio). De acordo com o Censo 2010 do IBGE, a população residente total do distrito era de 4.294 habitantes, sendo destes, 3.954 na área urbana do distrito, e 340 na área rural (IBGE, 2011).

A partir do estudo demográfico realizado pela equipe da Sanetal Engenharia & Consultoria, baseado em dados do IBGE ficou definido que a população inicial de projeto (2012) seria de 4.805 habitantes e de final de plano (2037) de 7.767 habitantes (contemplando 85% da população total), e totalizando ainda

aproximadamente 27.000 metros de rede coletora. O processo de tratamento proposto é de UASB (reator anaeróbico de fluxo ascendente) seguido de lodos ativados. A área do distrito (amarelo) e de abrangência do projeto elaborado (verde) pode ser visualizada na Figura 7 a seguir.

Figura 7 – Localidade contemplada com o projeto do distrito de Ipiabas



Fonte: A autora, 2022.

1.4.3 Descrição do projeto para o Distrito da Califórnia da Barra

O distrito da Califórnia da Barra é o menor em extensão territorial de Barra do Piraí, com apenas 28,474 km², a Califórnia, como é comumente tratada, é o segundo distrito mais populoso do município, com mais de 20 mil habitantes. Está localizado a 36,1 km do distrito sede e possui oficialmente 11 bairros, sendo eles: Boa Vista da Barra, Santa Terezinha, Cerâmica União, Recanto Feliz, Morada do Vale, Califórnia, Bairro de Fátima, Estrela de Fátima, São Luís da Barra, São Francisco e Guadalupe.

Somente neste distrito existem duas ETEs construídas, porém, uma delas sem funcionamento e a única ETE onde ocorre a chegada de efluentes coletados, se encontra sem monitoramento e sem a devida operação, como por exemplo, a retirada de lodo.

De acordo com o próprio manual da ETE, onde é determinada a frequência de remoção de lodo para um bom funcionamento do processo, pode-se afirmar que a ETE já não possui espaço para a compactação do lodo gerado (Figura 8), e a carga que deveria ser tratada, pode estar sendo lançada no corpo hídrico receptor (rio Paraíba do Sul) (PMBP, 2009).

Figura 8 – Aumento da imagem para a verificação do lodo no decantador da ETE



Fonte: A autora, 2022.

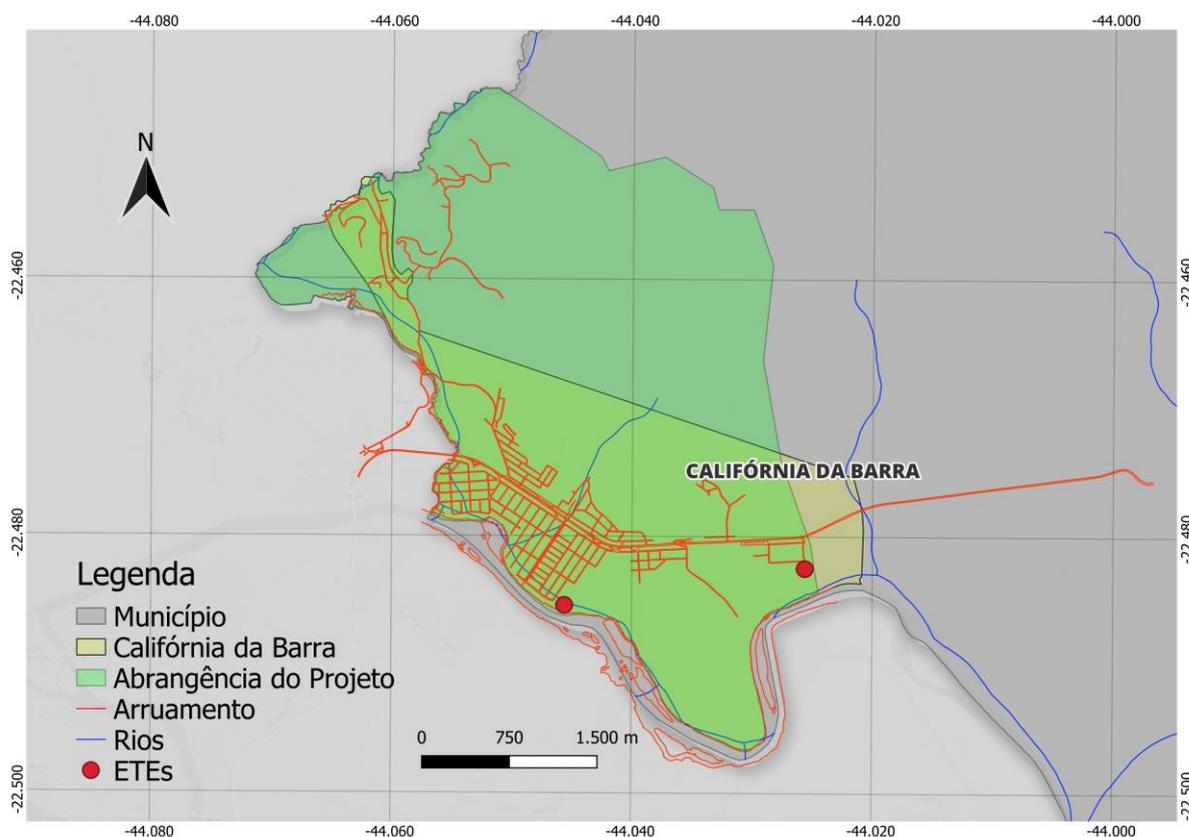
O projeto básico de tratamento e coleta de efluentes domésticos realizado para a Califórnia da Barra propôs o dimensionamento hidráulico dos coletores troncos, das estações elevatórias, estações de tratamento e demais elementos do projeto, como travessias e elementos acessórios, entre outros, para duas ETEs distintas, uma com vazão de projeto de 50 L/s e a outra de menor capacidade com 7 L/s (PMBP, 2022).

Este foi o único projeto onde a construção das ETEs e redes foram concluídas, e começaram a operar em julho de 2013, com os seguintes processos

de tratamento: biológico anaeróbio e aeróbio, composto de UASB (reator anaeróbico) + biofiltro aerado + decantador secundário (AEGEA, 2017).

A Figura 9 demonstra a demarcação do distrito da Califórnia (amarelo) e a bacia de contribuição do sistema de tratamento de esgoto do local (verde).

Figura 9 – Áreas do distrito da Califórnia e do projeto elaborado e construído



Fonte: A autora, 2022.

Na Figura 10 é observada parte da ETE com maior vazão, a ETE Califórnia da Barra.

Figura 10 – ETE Califórnia da Barra



Fonte: A autora, 2022.

Segundo a Secretaria Municipal de Água e Esgoto da Prefeitura Municipal de Barra do Piraí (2022), a ETE Califórnia da Barra se encontra em funcionamento, porém, sem monitoramento, o que dificulta saber por exemplo, a carga orgânica tratada e os parâmetros de eficiência.

No momento do tratamento do efluente, ocorre a sedimentação do material em suspensão presente no esgoto, este fenômeno ocorre a todo o momento, e para que exista local para esta sedimentação, o lodo deve ser retirado de tempos em tempos, variando de acordo com a tecnologia da ETE escolhida.

A Figura 11 apresenta a ETE de menor capacidade (7L/s) no distrito de Califórnia da Barra, chamada de ETE Manibra. Ela não se encontra em funcionamento, então, o tratamento é inexistente, por mais que a ETE esteja construída (SMAE, 2022).

Figura 11 – ETE Manibra localizada no distrito da Califórnia da Barra



Fonte: A autora, 2022.

O resumo dos dados principais contidos nos projetos que que serão abordados neste trabalho pode ser visualizado no Quadro 1.

Quadro 1 – Informações sobre os dados de população e tipos de tratamento apresentadas nos projetos de saneamento em estudo.

Localização	Data de entrega do projeto	População estimada e horizonte de projeto	Tipo de tratamento proposto	Vazão de projeto L/s
Distrito sede	Jun 2010	2010: 23.896 2030: 30.214	UASB (reator anaeróbio de fluxo ascendente + Filtro aerado submerso + Decantador	47,25
				15,21
Ipiabas	Out 2011	2012: 5.648 2037: 9.014	UASB (reator anaeróbio de fluxo ascendente + lodo ativado	27,66
Califórnia da Barra	Nov 2009	2008: 17.244 2028: 22.107	UASB (reator anaeróbio de fluxo ascendente + Biofiltro aerado submerso + Decantador Secundário	50
				7

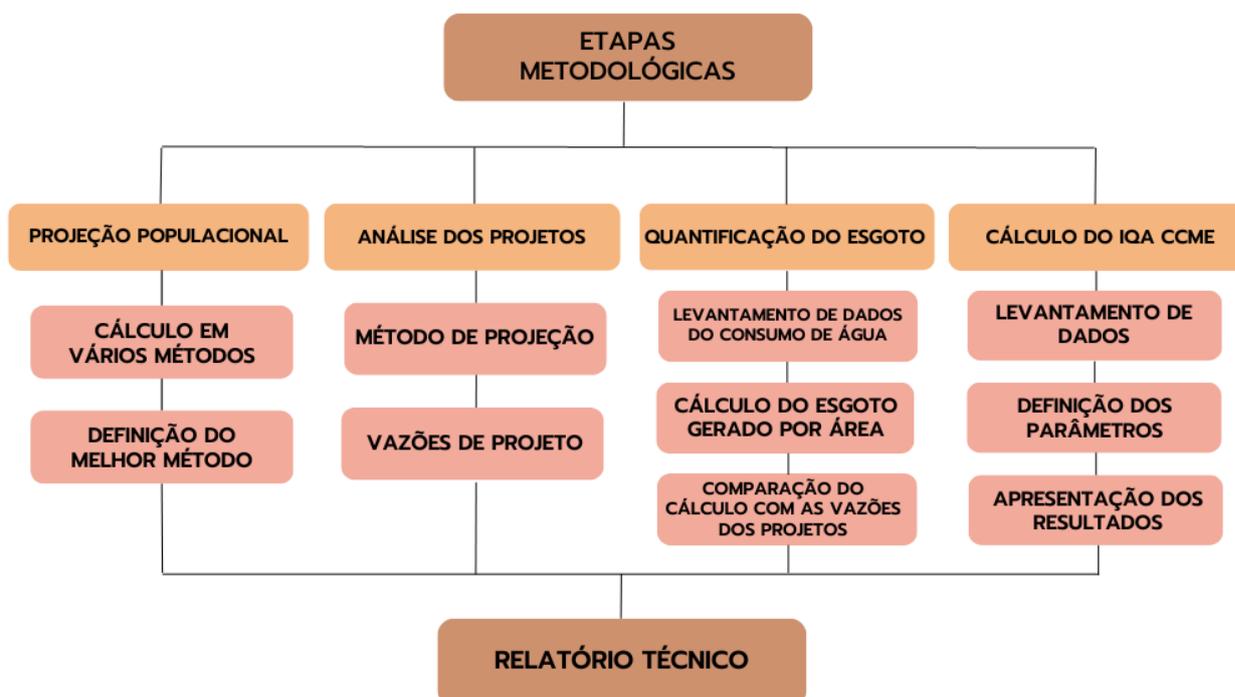
Fonte: PMBP, 2009, 2010, 2011. (Adaptado pela autora)

2. MÉTODOS, RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os projetos foram avaliados em dois quesitos: projeção populacional e vazão de esgoto gerado para tratamento, além disto, para demonstrar a necessidade do tratamento do esgotamento sanitário na cidade, foram dispostos os resultados do índice de qualidade de água do rio Paraíba do Sul.

O estudo utilizou a análise documental, justificada pelo emprego de laudos de análise de água e projetos já existentes. As etapas metodológicas podem ser visualizadas na Figura 12.

Figura 12 – Organograma das etapas metodológicas deste trabalho



Fonte: A autora, 2023

2.1 Qualidade de água de acordo com o IQA CCME

Para a verificação das consequências do cenário do esgotamento sanitário ao longo dos anos, tendo em vista os lançamentos de forma não tratada e desordenada principalmente no distrito sede, a análise do principal rio da cidade foi realizada por meio do cálculo do índice de qualidade de água CCME através de uma calculadora disponibilizada pelo próprio conselho.

Foram utilizados neste cálculo, os laudos de análise de água, que foram realizados de acordo com a metodologia de análise de água: “*American Water, Works Association and World Environment Federation. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*” (2005). Os laudos pesquisados foram disponibilizados pela Secretaria Municipal de Água e Esgoto e o período avaliado foi de 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2016, 2017, 2019, 2021 e 2022. Por conta da dificuldade de informações, principalmente de amostragens, para o cálculo do IQA_{CCME} foi necessário agrupar os anos de 2010 a 2014 em um grupo e 2016, 2017, 2019, 2021 e 2022 em outro grupo.

Os parâmetros empregados nos cálculos foram: oxigênio dissolvido, DBO, turbidez, sólidos dissolvidos totais, nitrato, fósforo total e cor verdadeira, onde foi aplicado o mesmo peso para todos.

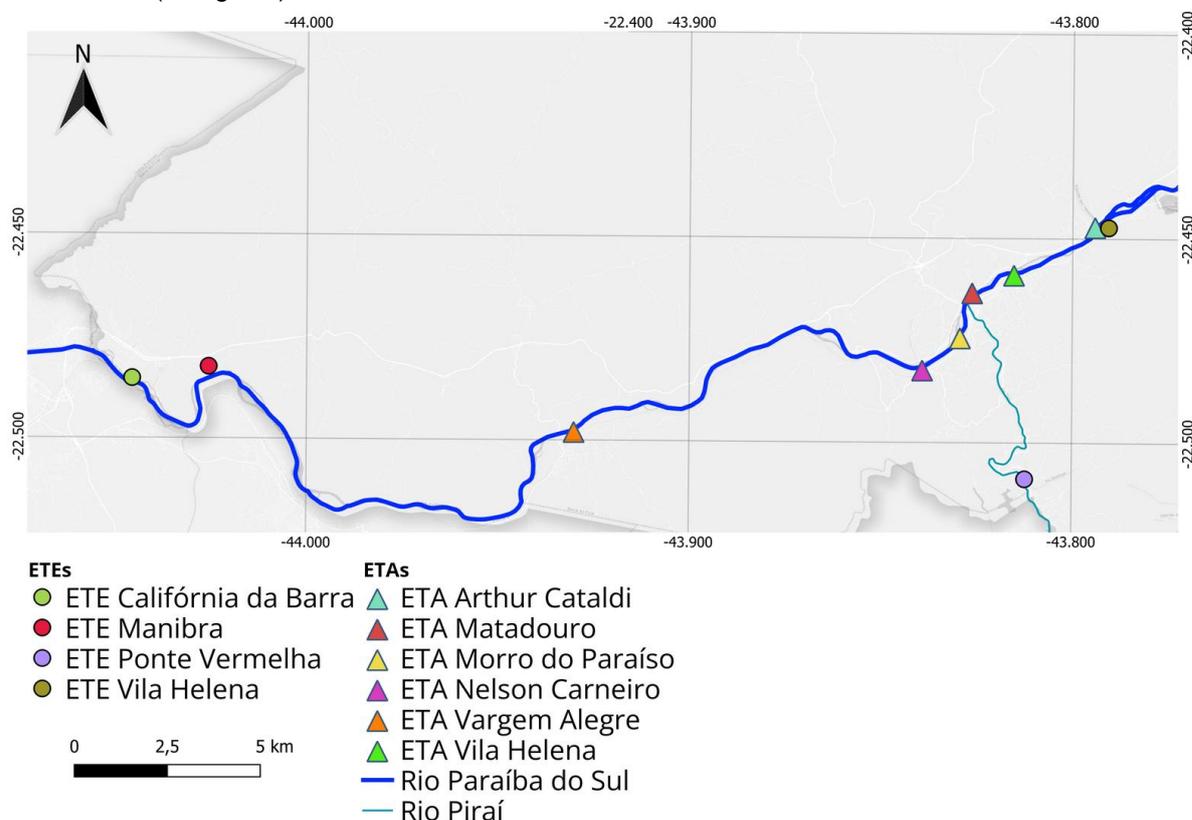
Para a comparação dos resultados, foi utilizada a legislação do Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005 que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

Os pontos analisados, foram as captações das Estações de Tratamento de Água que utilizam as águas do rio Paraíba do Sul, sendo elas: Vargem Alegre, Nelson Carneiro, Morro do Paraíso, Matadouro, Vila Helena e Arthur Cataldi.

Na elaboração dos cálculos e criação de planilhas, foi empregado o software *Microsoft Excel*.

A Figura 13 mostra o trecho para a aplicação do índice proposto.

Figura 13 – Trecho com os pontos de captação de água bruta e aplicação do cálculo do IQA_{CCME} (triângulos)



Fonte: A autora, 2023

A Tabela 2 apresentam os resultados do índice de qualidade de água feitos por meio do método CCME.

Tabela 2 – Resultado do índice de qualidade de água CCME com suas classificações e valor encontrado entre parênteses.

Data	Vagem Alegre	Nelson Carneiro	Morro do Paraíso	Matadouro	Vila Helena	Arthur Cataldi
2010-2014	Mediana (74)	Boa (91)	Mediana (73)	Mediana (65)	Boa (83)	Boa (82)
2016,2017,2019,2021 e 2022	Marginal (64)	Marginal (61)	Mediana (72)	Marginal (61)	Marginal (61)	Marginal (62)

Fonte: A autora, 2022.

Em uma análise inicial dos resultados de acordo com a Tabela 2, observou-se que cinco pontos apresentaram declínio na qualidade da água e somente em um dos pontos a classificação mediana se manteve.

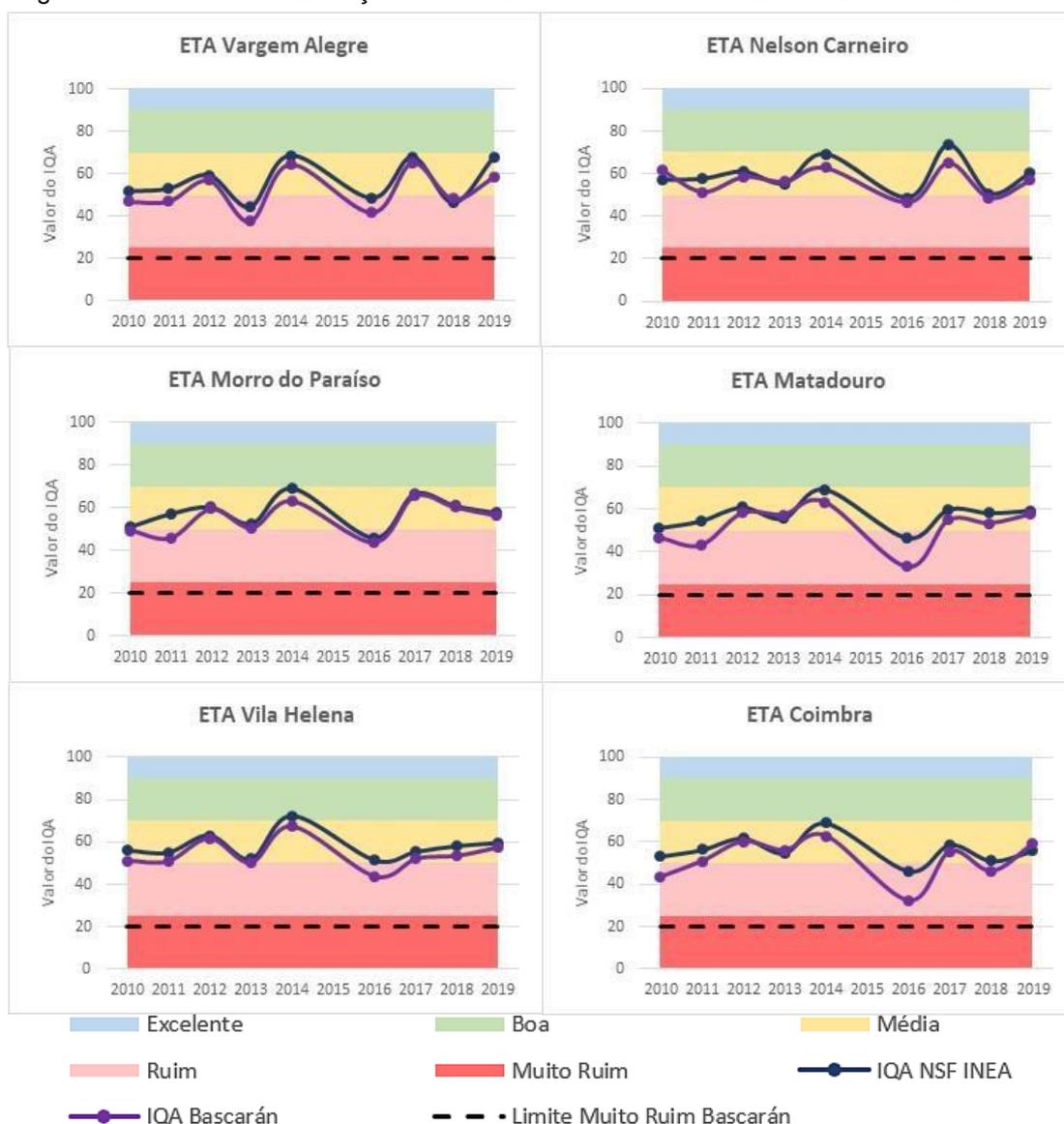
Conforme destacado no item de metodologia os dados foram divididos em dois Grupos para serem mais bem avaliados. O Grupo 1 apresentou três pontos com qualidade boa, porém, demonstrou outros três pontos com qualidade mediana.

Cabe destacar que um dos pontos onde a qualidade já era mediana e modificou-se para a classificação marginal de acordo com o IQA, se localiza à montante da Barragem Santa Cecília que é onde também acontece o início da transposição de água para o tratamento na ETA Guandu e posterior abastecimento de cidades da baixada fluminense e da cidade do Rio de Janeiro (PMBP, 2015).

Strada (2021) também aplicou o IQA CCME em uma bacia hidrográfica onde confirmou que a redução dos IQA's, em seu estudo também foi avaliada a degradação relacionada ao crescimento populacional. A situação pode ter sido agravada devido à problemática levantada sobre ocupações irregulares e pelo baixo índice de coleta de esgoto para tratamento. Este resultado indica um possível não acompanhamento da cobertura de esgoto à taxa de urbanização da região.

A fim de comparação do mesmo trecho analisado com outros IQAs, o trabalho de Casiuch et al. (2021), que foi utilizado como embasamento no referencial, evidenciou os níveis de poluição a partir da aplicação de dois índices de qualidade de água, Bascarán e IQA_{NSF-INEA}, de 2010 até 2019 por meio de laudos de qualidade de água disponibilizados pela Prefeitura da cidade e Laudos do INEA. Nos mesmos pontos de amostragem desta dissertação.

A Figura 14 apresenta os gráficos dos resultados dos dois IQAs, segundo o estudo de CASIUCH *et al.*, 2021.

Figura 14 – Gráficos de Evolução do IQA_{NSF-INEA} e IQA_{Bascarán} de 2010 a 2019 em Barra do Pirai

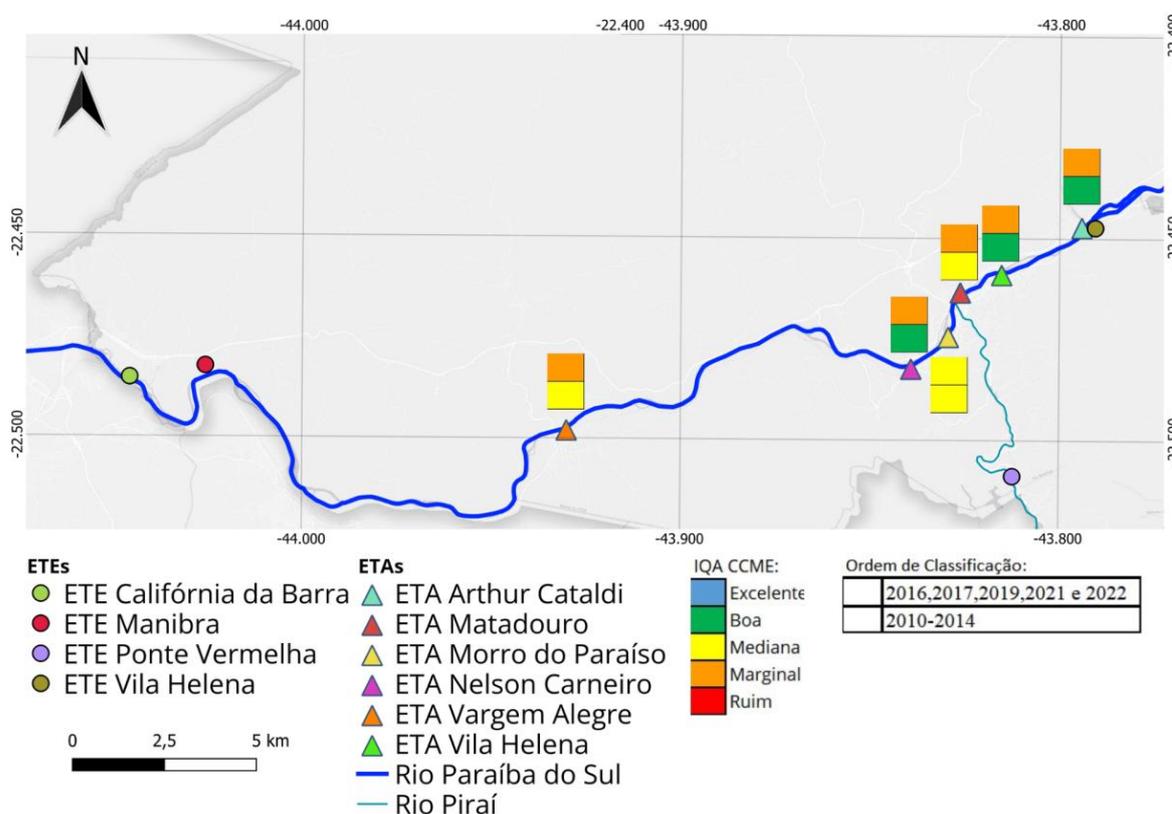
Fonte: CASIUCH *et al.*, 2021.

Em observação à Figura 14 as curvas apresentadas oscilam entre as classificações média e ruim, com predominância em média. Este resultado corrobora com o IQA CCME apresentado neste trabalho considerando que este índice contém duas classificações para qualidade mediana, sendo ela: mediana e marginal. Outro ponto importante a ser destacado, é que a variação para ruim, acontece em faixas de valores de 30 a 50, o que não ocorreu no IQA CCME, sendo o resultado mínimo o valor de 61, isto pode ser explicado também, pela diferença de alguns parâmetros analisados por Casiuch *et al.* (2021) e não analisados neste trabalho, são eles: pH e coliformes termotolerantes. O parâmetro cor verdadeira foi analisado no IQA CCME e não foi analisado por Casiuch *et al.* (2021).

Sabe-se que o IQA-CCME leva em conta: a quantidade de vezes em que uma variável não atendeu aos limites previstos pela legislação, a quantidade de testes de forma geral fora dos limites previstos e a quantidade pela qual os testes não alcançaram esses mesmos valores máximos ou mínimos estabelecidos (FERREIRA, 2019).

Para melhor visualizar a questão do despejo de esgoto sanitário tratado das ETEs o mapa na Figura 15 evidencia os resultados do índice de qualidade de água em cada ponto estudado.

Figura 15 – Esquema de parte da cidade de Barra do Piraí com os rios estudados



Fonte: A autora, 2023.

Conforme a Figura 15 verificou-se que as captações das ETAS Nelson Carneiro, Vila Helena e Arthur Cataldi apresentavam classificação “Boa” no IQA CCME no período de 2010 a 2014. Porém, todos estes três pontos mencionados variaram 20 vezes ou mais passando diretamente para a classificação marginal, no lugar de mediana, que seria a próxima após a qualidade “Boa”.

Com os resultados apresentados nesta seção, pode-se confirmar a degradação da água do rio Paraíba do Sul no trecho de Barra do Pirai, destacando a necessidade do tratamento do esgotamento sanitário para que a poluição seja mitigada até que seja descontinuada em uma futura universalização da coleta e tratamento de efluentes.

2.2 Análises dos projetos e cálculo de projeções de população

A análise de cada projeto foi feita com o intuito de coletar informações importantes para este trabalho, como: vazões máximas de projeto, projeção populacional, abrangência, entre outras, que por mais que não fizessem parte do escopo do trabalho, serviram como base para entender a realidade da época de elaboração.

Um gráfico foi elaborado a partir de resultados de projeções de população com as seguintes metodologias: geométrica, aritmética, potência, exponencial, polinomial e AiBi. Para tais cálculos, foram utilizadas fórmulas de acordo com o Quadro 2 a seguir.

Quadro 2 – Resumo de fórmulas de métodos para projetar a população.

Método	Fórmula	Descrição	Autor
Geométrico	$K_g = \frac{\ln P_2 - \ln P_0}{t_2 - t_0}$	<p>K_g = Coeficiente; P_0 = População do último censo conhecido; P_2 = População do censo anterior ao último conhecido; t_0 = Ano do último censo; t_2 = Ano do censo anterior ao último conhecido P_t = População Projetada; t = Ano projetado (início, meio e fim).</p>	DAMASCENO <i>et al.</i> (2019)
	$P_t = P_0 \times e^{K_g \times (t - t_0)}$		
AiBi	$a_i = \frac{P_i(t_1) - P_i(t_0)}{P(t_1) - P(t_0)}$	<p>P = População de um censo antigo P_i = População de um censo recente a_i = coeficiente de proporcionalidade do incremento da população da área menor i em relação ao incremento da população da área maior; b_i = coeficiente linear de correção.</p>	PICKARD (1959)
	$b_i = P_i(t_0) - a_i P(t_0)$		
Aritmético	$K_a = \frac{\Delta P}{\Delta t}$	<p>t = ano final t_0 = ano inicial K_a = coeficiente P_0 = população inicial P_t = população final</p>	TSUTIYA (2006)
	$P_t = P_0 + K_a \times (t - t_0)$		
Potência	$f(x) = kx^n$	<p>k = tempo em anos x = população inicial n = é a variação do ano que está sendo calculado – ano inicial</p>	DO NASCIMENTO (2020)
Exponencial	$f(x) = kb^x$	<p>k = população inicial b = é $1+i$ onde i é a taxa de crescimento x = tempo em anos</p>	DO NASCIMENTO (2020)
Polinomial	$P_t = a + b_1X + b_2X^2$	<p>a e b = parâmetros a serem estimados pelo método dos mínimos quadrados X = ano calculado</p>	SMITH <i>et al.</i> (2001)

Fonte: DO NASCIMENTO (2020); DAMASCENO *et al.* (2019); PICKARD (1959); SMITH *et al.* (2001); TSUTIYA (2006)

Após os cálculos realizados das projeções populacionais, uma comparação foi feita com as projeções de cada projeto. A projeção que melhor se adequa à realidade de Barra do Piraí foi apresentada de acordo com as taxas de crescimento populacional contidas no Plano Municipal de Saneamento Básico do Município.

Para a produção de mapas, o software de Sistema de Informação Geográfica (SIG) QGIS 3.28.1-Firenze foi utilizado. Neste mesmo software, após serem utilizadas as bases de dados do INEA e da Prefeitura Municipal de Barra do Piraí para a obtenção dos arquivos, foi empregado também para a representação da malha de setores censitários com o intuito de auxiliar a projeção da população em diferentes métodos.

Na elaboração dos cálculos e criação de planilhas, foi empregado o software *Microsoft Excel*.

Após a análise dos projetos, pôde-se extrair as informações sobre o horizonte de estudo e o método de projeção conforme Tabela 3.

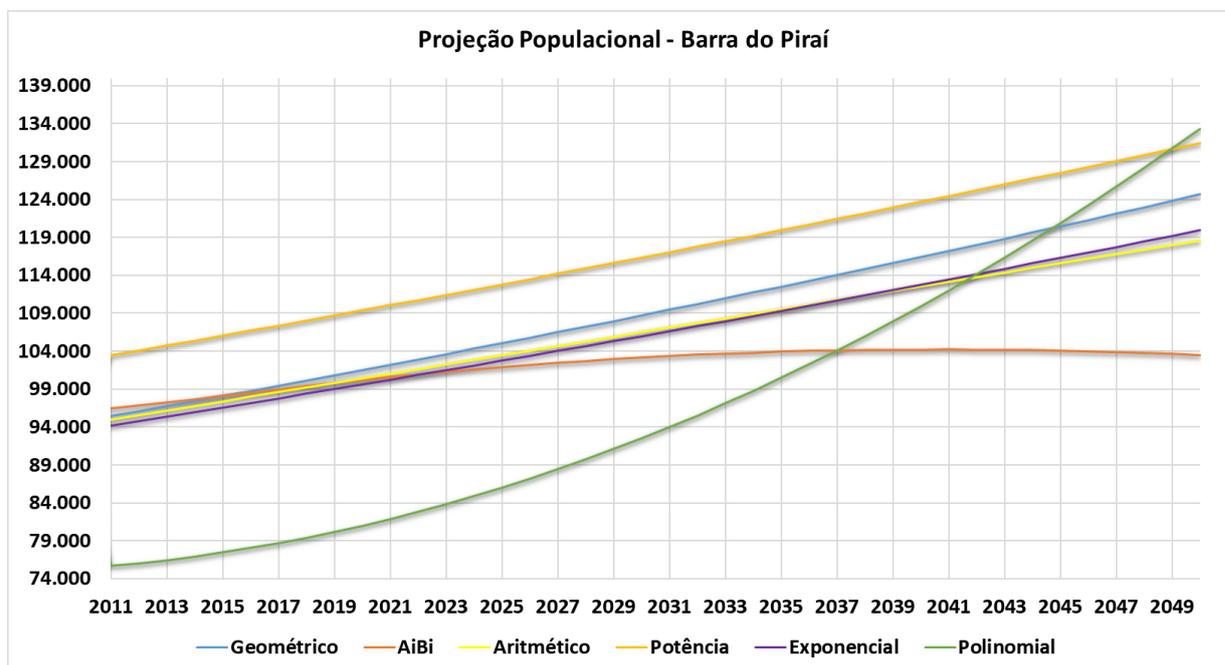
Tabela 3 – Análise do horizonte de estudo e as projeções que foram utilizadas

Localidade	Horizonte de estudo	Método de projeção
Distrito Sede	2010 a 2030	Não informado
Ipiabas	2012 a 2037	Regressão
Califórnia da Barra	2008 a 2028	Geométrico

Fonte: A autora, 2022.

A partir das análises, calculou-se as projeções populacionais para a totalidade da cidade de Barra do Piraí, cujos resultados estão apresentados no gráfico da Figura 16.

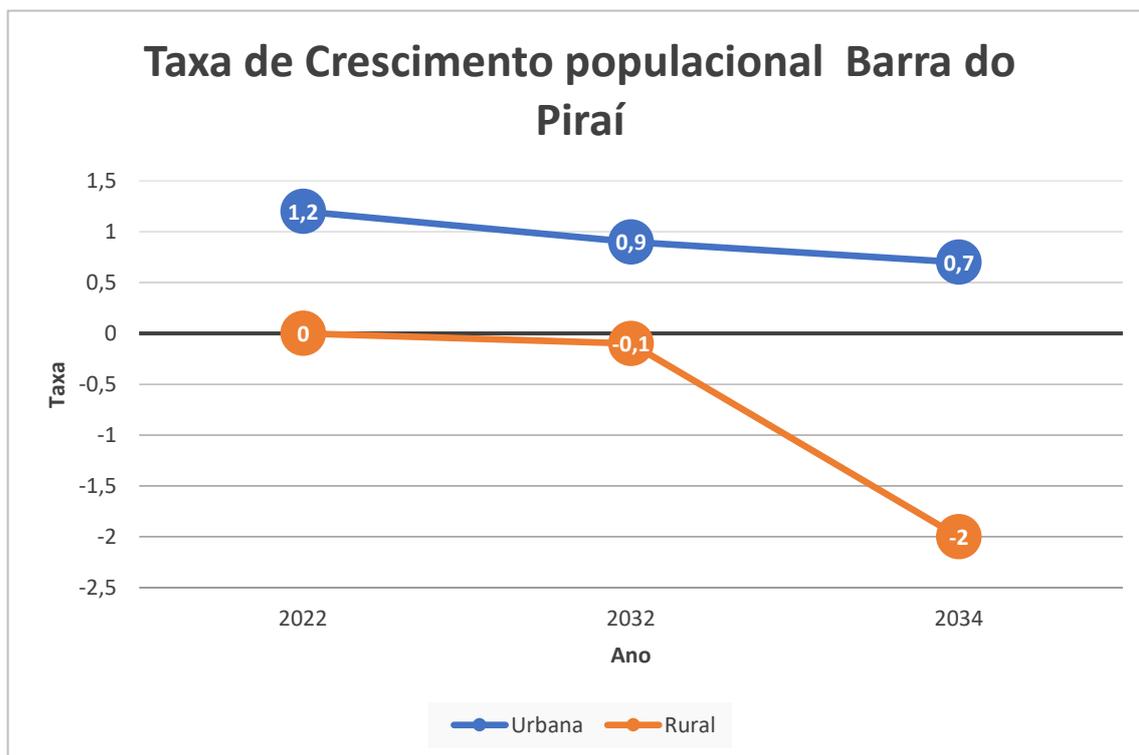
Figura 16 – Gráfico da projeção populacional de todo o município de Barra do Pirai segundo os diferentes métodos de projeção populacional adotados no estudo.



Fonte: A autora, 2022.

O PMSB (2015) demonstra as taxas de crescimento populacional (Figura 17) por meio de um estudo feito no município, com a análise no desenvolvimento na infraestrutura de um modo geral e dos principais bairros, onde chegaram a índices iguais a 1,2% a.a. (até 2022), 0,9% a.a. (até 2032) e 0,7% a.a. (até 2034) para a população urbana; 0% a.a. (até 2022), -0,1% a.a. (até 2032) e -2% a.a. (até 2034) para população rural, conforme tendência apontada pelo último censo demográfico do IBGE em 2010, de acordo com a transição da fecundidade e o padrão reprodutivo no Brasil.

Figura 17 – Gráfico da taxa de crescimento populacional de Barra do Piraí



Fonte: PMSB, 2015.

Com a observação à Figura 16 novamente, a curva que melhor retorna à taxa de crescimento em Barra do Piraí, é a da metodologia AiBi.

Brito *et al.* (2010), discorreu sobre a utilização do método AiBi e a importância da pesquisa em metodologias que atendam a municípios que tenham o crescimento populacional mais baixo ou até mesmo o decréscimo da população.

Alem Sobrinho e Tsutiya (1999) comenta em seu estudo sobre a importância do melhor método de projeção, onde diz que a análise demográfica de uma determinada região depende da qualidade das informações utilizadas, as quais podem influenciar em possíveis equívocos na projeção da população. Além da precisão dos dados, aspectos como a dimensão do território estudado, definição do método utilizado e a duração do projeto são relevantes para garantir a exatidão do estudo. Normalmente, áreas reduzidas e períodos prolongados tendem a aumentar as margens de erro na estimativa populacional (ALEM SOBRINHO; TSUTIYA, 1999).

Brito *et al.* (2010), cujo estudo elucidou a utilização do método AiBi para cidades que não tenham crescimento populacional expressivo, discorreu sobre as diferenças que podem ocorrer caso um método equivocado seja utilizado, quando uma

estimativa excessivamente distante da realidade é empregada, despesas podem ser geradas sem necessidade ou negligenciar uma parte carente da sociedade. No contexto de investimentos governamentais, em particular, a distribuição adequada dos recursos pode implicar no atendimento de conjuntos populacionais que ficariam excluídos das iniciativas públicas.

Trazendo o contexto do projeto para Califórnia da Barra por exemplo, que é um projeto construído, onde apresentou um total de R\$ 11.821.759,43 para sua construção. No estudo, foi utilizado o método geométrico, que segundo a Figura 16 é o método com a terceira maior curva, com maior tendência ao crescimento populacional. Com isto, pode-se dizer que este projeto foi superdimensionado de acordo com os quesitos analisados neste trabalho (PMBP, 2009).

2.3 Estimativa per capita do consumo de água potável

Para fins de comparação posterior com a vazão dimensionada para os projetos de esgotamento sanitário foi realizado o cálculo da estimativa da geração de efluentes per capita em cada distrito. Para tal, foram coletados dados de economias e consumo de água no SNIS e a taxa média de moradores em domicílios particulares ocupados no último censo publicado do IBGE.

Cabe destacar que, em cada área de projeto existe uma concessionária atuando. Por isto, para o Distrito Sede a informação foi buscada por meio da PMBP e SNIS, para Ipiabas, pela Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro (CEDAE) e para Califórnia da Barra o Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Volta Redonda (SAAE-VR).

Heller (2010) destaca a importância do valor do consumo per capita para calcular as capacidades das diversas unidades de uma instalação de fornecimento de água.

O consumo per capita pode ser calculado de acordo com a Equação 1.

$$qpc = \frac{\text{média anual consumida por uma dada população (m}^3\text{)}}{\text{população abastecida (hab)}} \times 1000 \quad (1)$$

De forma que, quando a informação sobre a população abastecida é imprecisa ou inexistente, o cálculo pode ocorrer considerando o valor de economias e da taxa média de moradores em domicílios particulares ocupados (IBGE, 2010). Portanto, o consumo per capita de água pode ser calculado de acordo com as Equações 2, 3 e 4.

$$x = \frac{\text{consumo de água anual (m}^3\text{)}}{365 \text{ (dias do ano)}} \times 1000 \quad (2)$$

Onde: x = consumo de água diário em litro

$$y = \frac{x \text{ (L/dia)}}{\text{economias}} \quad (3)$$

Onde: y = consumo de água por economia

Considerando a média de moradores em domicílios particulares ocupados: 3,07 (IBGE, 2010), tem-se:

$$\text{consumo per capita} = \frac{y}{3} \quad (4)$$

Onde o resultado é encontrado em L/hab/dia.

Para fins de comparação com os projetos estudados em relação ao quesito vazão máxima de projeto, ou seja, a quantidade de esgoto suportada para tratamento em cada ETE, foram coletados os dados de projeções populacionais do próprio projeto do mesmo ano ou próximos aos dados de consumo de água coletados pelo SNIS.

Após o levantamento de informações, a Equação 5 é utilizada.

$$w = \text{população projetada} \times \text{consumo per capita} \quad (5)$$

O consumo de água por dia varia de acordo com a disponibilidade, a condição econômica do país e ainda com o nível de renda da população. O consumo de água no mundo divide-se basicamente em industrial, agrícola e doméstico,

correspondendo respectivamente à 21, 69 e 10% do total da água doce (GOMES, 2011).

A Tabela 8 apresenta o valor do consumo per capita de água já com o coeficiente de retorno inserido (0,8) como demonstram os autores Alem Sobrinho; Tsutiya, (1999) e Von Sperling, (2011) corroborado pelo PMSB (2015). A Tabela 8 também apresenta os dados de população encontrados nos projetos e a vazão máxima de projeto, bem como o ano de projeção utilizado. Para o cálculo de consumo per capita, foi utilizado o valor de 171 L/hab.dia proposto pelo SNIS (2021).

Tabela 8 – Dados de volume per capita de água por dia e população projetada utilizados para o cálculo de esgoto gerado.

Localidade	Per capita água (L/dia)	População projetada (hab)	Vazões máximas de Projeto ETE's (L/s)	Ano considerado
Distrito Sede	136,80	30.214	62,46	2030
Ipiabas	211,73	6.970	27,66	2021
Califórnia da Barra	136,80	22.107	57,00	2028

Fonte: A autora, 2023.

A partir dos dados apresentados na Tabela 8, a Tabela 9 foi gerada com os dados dos cálculos feitos baseados na própria projeção de população dos projetos de esgotamento sanitário relacionando com o total tratado por dia caso todas as ETEs estivessem em funcionamento.

Tabela 9 – Resultados para o total de esgoto gerado e tratado por dia em 2021

Localidade	Total Gerado (m³/dia)	Total tratado/dia (m³/dia)	Diferença (m³/dia) (tratado – gerado)
Distrito Sede	4.133,275	5.396,544	1.263,269
Ipiabas	1.475,758	2.389,824	914,065
Califórnia da Barra	3.024,237	4.924,800	1.900,562

Fonte: A autora, 2023.

Observa-se que todos os projetos ainda se enquadram para a população que foram estudados para abranger.

Porém, cabe ressaltar que, para o distrito sede, o cálculo foi realizado considerando a população estimada para 2030 e para Califórnia da Barra, o ano de 2028, pois não foi apresentada uma Tabela ano a ano, e sim, somente do ano inicial e final, por isto, mesmo que estejamos em 2023 e a taxa de crescimento desta área tenha um acréscimo, é necessário revisar as tecnologias, a vazão de tratamento ou a determinação de um novo projeto de tratamento de esgoto sanitário para esta região, tendo em vista que é no distrito Sede que existe um movimento populacional mais intenso.

De acordo com os cálculos na Tabela 9, na área de diferença entre o valor do esgoto tratado menos o gerado, quando o distrito Sede, mais precisamente nos bairros alcançados pelo projeto, aumentar em 9.234 pessoas, as ETEs não comportarão o volume produzido de esgoto. Para os distritos de Ipiabas e Califórnia, as ETEs só conseguirão atender mais 4.317 e 13.892 pessoas respectivamente.

Um dado que demonstra a deficiência do tratamento de esgoto sanitário no município é o cálculo a partir da população total da cidade, 101.139 habitantes segundo o SNIS (2022), e a verificação do esgoto gerado baseado no consumo per capita que é de 80% de 171L/hab.dia. O valor encontrado de esgoto gerado foi de 13.835,82 m³/dia e caso as ETE's analisadas neste trabalho estivessem em funcionamento, ainda sobriariam 1.124,65 m³/dia de esgoto coletado sem tratamento.

Lima e Abreu (2004) constataram em seu trabalho sobre possíveis falhas nos projetos básicos são frequentemente responsáveis pela ocorrência de complicações durante a etapa de construção, podendo em certas situações acarretar em perdas significativas para os cofres públicos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS e RECOMENDAÇÕES

O intuito do trabalho foi avaliar a possibilidade de reutilização dos projetos de esgotamento sanitário elaborados frente ao crescimento populacional na cidade de Barra do Piraí, tendo em vista que os estudos feitos nos projetos são datados nos anos de 2009, 2010 e 2011. Cabe ressaltar que para embasamento da justificativa da necessidade de tratamento de esgoto sanitário no município, foi apresentado no trabalho um índice de qualidade de água (IQA-CCME) com dados relacionados à qualidade de água do rio Paraíba do Sul no trecho de Barra do Piraí no período de 2010 a 2014 (Grupo 1) e 2016,2017,2019,2021 e 2022 (Grupo 2) onde concluiu-se que a água do corpo hídrico estudado está em degradação.

A partir da demonstração do índice de qualidade de água, foi possível notar o declínio na qualidade hídrica, o que pode ser justificado pelo crescimento populacional e o aumento de carga orgânica in natura que é despejada nos principais rios da cidade: Piraí e Paraíba do Sul.

Cabe ressaltar que a amostragem para cada ano ser apenas uma, foi necessário dividir o período em dois grupos como já citado anteriormente.

Ainda sobre o índice de qualidade de água, o IQA CCME se mostrou com grande potencial para ser utilizado em Barra do Piraí por conta de sua adaptabilidade em diferentes parâmetros.

O cálculo da estimativa per capita foi realizado a fim de comparar com as vazões das ETE's dimensionadas em cada projeto.

Pode-se verificar nos cálculos de estimativa de consumo de água per capita que a micromedição é importante para a gestão de recursos hídricos de uma cidade. Além disto, é interessante que se tenham cadastrados os poços já existentes nas residências da cidade.

De acordo com os quesitos analisados, todos os projetos ainda são válidos, porém, é indicado que a projeção populacional seja refeita considerando o método AiBi, que foi o que mais se adequou conforme a taxa de crescimento populacional da cidade, além de promover uma redução de gastos na concepção do projeto.

Um dado que demonstra a deficiência do tratamento de esgoto sanitário no município é o cálculo a partir da população total da cidade, 101.139 habitantes segundo o SNIS (2022), e a verificação do esgoto gerado baseado no consumo per

capita que é de 80% de 171L/hab.dia. O valor encontrado de esgoto gerado foi de 13.835,82 m³/dia e caso as ETE's analisadas neste trabalho estivessem em funcionamento, ainda sobriariam 1.124,65 m³/dia de esgoto coletado sem tratamento.

Portanto, mesmo com a revisão dos projetos realizada nesta dissertação, novas ETEs devem ser projetadas a fim de atingir a universalização do tratamento de esgoto sanitário no município. Com isto, a qualidade de água dos rios Paraíba do Sul, Piraí e todos os afluentes destes dois aumentaria, além de melhorar a qualidade de água para o tratamento e abastecimento na cidade do Rio de Janeiro.

REFERÊNCIAS

- AEGEA. *Procedimento de Manifestação de Interesse*. Prefeitura Municipal de Barra do Piraí, 2017.
- ALEM SOBRINHO, P.; TSUTIYA, M. T. *Coleta e transporte de esgoto sanitário*. 1.ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1999.
- BARBADO, N.; LEAL, A. C. *Cooperação global sobre mudanças climáticas e a implementação do ODS 6 no Brasil*. Research, Society and Development, v. 10, n. 3, p. e29110313290-e29110313290, 2021.
- BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. *Atualiza o marco legal do saneamento básico e dá outras providências*. Diário Oficial da União, 2020. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato20192022/2020/lei/l14026.htm. Acesso em: 15 fev. de 2021.
- BRITO, L. P. G.; CAVENAGHI, S.; JANNUZZI, P. *Estimativas e projeções populacionais para pequenos domínios: uma avaliação da precisão para municípios do Rio de Janeiro em 2000 e 2007*. Revista Brasileira de Estudos de População, v. 27, n. 1, p. 35-57, jan./jun. 2010.
- CASIUCH, M.; MARRA, E. B.; LIMA JUNIOR, A. DE S.; CADETE, A. N. DE M., CASTRO, A. D.; ALCOFORADO, R. M. G. e SILVA, J. C. *Avaliação da Evolução e Perspectivas da Qualidade da Água no Rio Paraíba do Sul em Barra do Piraí-RJ*. XXIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos – ABRHIDRO. Belo Horizonte, Minas Gerais, 2021.
- CRESPO, S.; LOPES, A. F. *O Saneamento Não Pode Esperar*. p. 92, 2019.
- DAMASCENO, A. M.; SUCUPIRA JUNIOR, P. R.; SALGUEIRO, A. R. e DUARTE, C. R. *Interpolation methods applied to the population growth estimate*. Journal of Hyperspectral Remote Sensing, [s. l.], v. 9, n. 2, p. 80-87, 2019.
- DO NASCIMENTO, P. H. R.; LATRILHA, J. V. L. *Estimativas da População de Cruz das Almas-Bahia, em 2020, utilizando os ajustes Linear, Exponencial e Sigmoidal*. Revista Eletrônica de Ciências Exatas e Tecnológicas, n. 3, 2022.
- FERREIRA, A. P. V. *Panorama atual do monitoramento da qualidade das águas e do uso de índices no Brasil. Estudo de caso: Ribeirão da Mata – Aplicação do IQA-CCME*. 2019. 115 f. Dissertação (mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (PROF-ÁGUA)) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.
- FLORES, D. M. *et al. Epidemiologia da Leptospirose no Brasil 2007 a 2016*. Brazilian Journal Of Health Review, v. 3, n. 2, p. 2675-2680, 2020.

GOMES, M. A. F. *Água: sem ela seremos o planeta Marte de amanhã*. 2011. Disponível em: <http://webmail.cnpma.embrapa.br/down_hp/464.pdf>. Acesso em: 08 jan 2023.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. *Abastecimento de água para consumo humano*. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2010.

IBGE. *Cidade - História e Fotos, 2017*. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/barra-do-pirai/historico>>. Acesso em: 14 jun. 2022.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Cidades e Estados*. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados.html?view=municipio>>. Acesso em, 20 abr. 2022.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Malha de Setores Censitários, 2022*. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/26565-malhas-de-setores-censitarios-divisoes-intramunicipais.html?=&t=o-que-e>>. Acesso em: 26 jun. 2022.

INEA. Instituto Estadual do Ambiente. *Boletim Consolidado de Qualidade das Águas da Região Hidrográfica III - Médio Paraíba Do Sul, 2021*. Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/rh-iii-medio-paraiba-do-sul/>>. Acesso em: 12 dez. 2022.

INSTITUTO TRATA BRASIL. *Ranking do Saneamento (SNIS 2020)*. São Paulo, 2022. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/images/estudos/Ranking_do_Saneamento_2022/Relat%C3%B3rio_do_RS_2022.pdf>. Acesso em: 21 jun. 2022.

MENEZES, J. M.; DA SILVA JR, G. C.; PRADO, R. B. *Índice de Qualidade de Água (IQACCME) Aplicado à Avaliação de Aquíferos do Estado do Rio de Janeiro*. *Águas Subterrâneas*, v. 27, n. 2, 2013.

PACHÁ, A. S. C. *Qualidade da água para consumo humano na Paraíba: sistemas de Informações para fins de vigilância e controle das doenças diarreicas agudas*. 2018. 70 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Universidade Federal da Paraíba - UFPB, Brasil, 2018.

PICKARD, J. *Metropolization of the United States*. Washington, DC: Urban Land Institute (Land Institute Research Monograph), 1959.

PMBP. *Projeto Básico para a coleta e tratamento de esgotamento sanitário do distrito da Califórnia da Barra em Barra do Piraí*. Barra do Piraí, 2009.

_____. *Projeto Básico para a coleta e tratamento de esgotamento sanitário do distrito de Ipiabas em Barra do Piraí*. Barra do Piraí, 2011.

SILVA, R. A. S. *et al*. *Aplicação de um Índice de Qualidade de Água para o sistema de abastecimento público*. *Scientia Plena*, v. 13, n. 10, 2017.

SMAE. Secretaria Municipal de Água e Esgoto de Barra do Piraí. *Notas Técnicas*. 2022.

SMAMB. Secretaria Municipal do Ambiente de Barra do Piraí. *Notas Técnicas*. 2022.

SMITH, S. K; TAYMAN, J.; SWANSON, D. A. *State and local population projections: methodology and analysis*. New York: Kluwer: Plenum, 2001. 426 p.

SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. *Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto – Visão Geral. Ano de Referência: 2021*. Brasília, 2022. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnosticos>>. Acesso em 02 jan 2023.

TCE - Tribunal de Contas do Estado do Rio de Janeiro. *Estudos Socioeconômicos Municípios do Estado do Rio de Janeiro - Barra do Piraí*, 2018.

TSUTIYA, M. T. *Abastecimento de Água*. 3a. Edição. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006

VON SPERLING, Marcos. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. Editora UFMG, 2011.