



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E
MEIO AMBIENTE**



ISABEL GONÇALO SOARES DA COSTA

**AVALIAÇÃO DECENAL DA QUALIDADE DA ÁGUA E BIOTRATAMENTO
POR BIOFILME EM TRECHO DE RIO NO INTERIOR DE UNIDADE DE
CONSERVAÇÃO DE JOÃO PESSOA – PB**

**JOÃO PESSOA
2024**

ISABEL GONÇALO SOARES DA COSTA

**AVALIAÇÃO DECENAL DA QUALIDADE DA ÁGUA E BIOTRATAMENTO
POR BIOFILME EM TRECHO DE RIO NO INTERIOR DE UNIDADE DE
CONSERVAÇÃO DE JOÃO PESSOA – PB**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal da Paraíba, para obtenção do título de Mestre.

Orientador: MARIA CRISTINA BASÍLIO
CRISPIM DA SILVA

Co-orientador: GILCEAN SILVA ALVES

JOÃO PESSOA
2024

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

C838a Costa, Isabel Gonçalo Soares da.

Avaliação decenal da qualidade da água e
biotratamento por biofilme em trecho de rio no interior
de unidade de conservação de João Pessoa - PB / Isabel
Gonçalo Soares da Costa. - João Pessoa, 2024.

131 f. : il.

Orientação: Maria C. Basilio Crispim da Silva.

Coorientação: Gilcean Silva Alves.

Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCEN.

1. Gestão ambiental. 2. Rio urbano. 3.
Biotratamento. I. Silva, Maria C. Basilio Crispim da.
II. Alves, Gilcean Silva. III. Título.

UFPB/BC

CDU 504:556.53(813.3)(043)

ISABEL GONÇALO SOARES DA COSTA

**AVALIAÇÃO DECENAL DA QUALIDADE DA ÁGUA E BIOTRATAMENTO POR
BIOFILME EM TRECHO DE RIO NO INTERIOR DE UNIDADE DE
CONSERVAÇÃO DE JOÃO PESSOA – PB**

Dissertação apresentada ao Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA – da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Trabalho Aprovado. João Pessoa, 31 de agosto de 2023, às 09:00h.

BANCA EXAMINADORA



Maria Cristina Basílio Crispim da Silva
Universidade Federal da Paraíba



Gilcean Silva Alves
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba

 Documento assinado digitalmente
ULRICH VASCONCELOS DA ROCHA GOMES
Data: 12/04/2024 20:37:05-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Ulrich Vasconcelos da Rocha Gomes Universidade
Federal da Paraíba



Danielle Machado Vieira
UNINASSAU

Dedicado a todos os profissionais da área ambiental.

AGRADECIMENTOS

Gratidão ao ser criador de todas as coisas.

Agradecimentos especiais à professora Cristina Crispim por toda dedicação, paciência e maestria em seus ensinamentos que me foram repassados. A SUDEMA pela parceria realizada, foi de extrema importância no desenvolvimento da pesquisa. A SEMAM que por um momento também foi parceira da pesquisa, obrigada pelo apoio. Aos colaboradores e estagiários da Coordenadoria de Medições Ambientais, coletas de trabalho e amigos que tornaram a caminhada mais leve. A minha família pelo apoio e suporte. Aos amigos de profissão, gestores ambientais de 2016.1 do IFPB, que criei laços de amizade e que contribuíram de forma amorosa com este passo acadêmico que me propus a realizar, vocês sempre fazem a diferença nos meus dias. Aos colegas de turma do PRODEMA, obrigada pela força e incentivo. Aos colegas do laboratório LABEA, em especial ao Randolpho. A equipe do laboratório CONSTA pela parceria, não seria possível sem o auxílio de vocês. A Gilvânia e Valtiqueza que contribuíram na preparação das cortinas, dividiram comigo as dores nos dedos e longas horas de trabalho para que o projeto fosse executado. A todos que de alguma forma auxiliaram ao longo desses dois anos e meio, aos meus amigos e familiares que me fortaleceram em todos os momentos.

"O rio atinge seus objetivos, porque aprendeu a contornar obstáculos."

LAO TZU.

RESUMO

A urbanização desenfreada e a pressão imobiliária trouxeram consigo vários impactos ambientais, dos quais podemos destacar como negativos a ineficiência de serviços essenciais como coleta regular de resíduos, captação e tratamento de efluentes e destruição de ecossistemas naturais como restingas, manguezais, rios e matas ciliares, trazendo danos sociais e econômicos às comunidades que utilizam-se destes ecossistema. Destacam-se nesta problemática os rios urbanos que recebem contribuição por efluentes e têm sua qualidade e volume de água comprometidos gerando diversos problemas ambientais, sociais e econômicos. Isso ocorre em especial com o Rio Jaguaribe, por ser um dos principais rios urbanos de João Pessoa e ter funções ecossistêmicas extremamente relevantes para o ambiente da cidade, como as redes naturais de drenagem, zonas de amenização ambiental, dentre outros, e que não estão sendo ofertadas mediante a atual qualidade do rio, que teve seu curso natural alterado e qualidade degradada por ações antrópicas. Dito isto, o objetivo central do presente trabalho está delimitado em avaliar o histórico da qualidade da água do Rio Jaguaribe nos últimos 10 anos em quatro pontos de amostragem, com dados cedidos pela Superintendência de Administração do Meio Ambiente (SUDEMA), aplicar o tratamento por biofilme em um trecho do rio nas imediações do Jardim Botânico Benjamim Maranhão a fim de constatar a eficiência do tratamento e a sua influência quanto à balneabilidade do rio nos limites do Jardim, beneficiando ambientalmente o rio, melhorando a oferta de serviços ecossistêmicos para os visitantes do local. Para a avaliação da qualidade do Rio Jaguaribe nos últimos dez anos foram utilizados dados físicos, químicos e biológicos em quatro pontos de amostragem, que serão submetidos à análise estatística descritiva. Para evidenciar a eficiência do biotratamento foram realizadas análises pré e pós tratamento e a montante e jusante do sistema de biorremediação, a fim de identificar a eficiência do biotratamento. Foi feita a comparação dos dados através do programa estatístico de *software* livre R, pelo Teste-t de *Student*. Todos os parâmetros foram realizados seguindo a metodologia internacional descrita na 23ª edição do *Standad Methods for the examination of Water and Wastewater*..

Palavras-chave: Gestão Ambiental; Rio Urbano; Biotratamento; Biofilme; Mata Atlântica.

ABSTRACT

Unbridled urbanization and real estate pressure have brought with them several environmental impacts, of which we can highlight as negative the inefficiency of essential services such as regular waste collection, capture and treatment of effluents and destruction of natural ecosystems such as restingas, mangroves, rivers and riparian forests, bringing social and economic damage to communities that use these ecosystems. Urban rivers that receive contributions from effluents and have their water quality and volume compromised, generating various environmental, social and economic problems, stand out in this problem. This occurs especially with the Jaguaribe River, as it is one of the main urban rivers in João Pessoa and has extremely relevant ecosystem functions for the city's environment, such as natural drainage networks, environmental mitigation zones, among others, and which are not being offered based on the current quality of the river, which has had its natural course altered and quality degraded by human actions. That said, the central objective of this work is limited to evaluating the water quality history of the Jaguaribe River over the last 10 years at four sampling points, with data provided by the Superintendency of Environmental Administration (SUDEMA), applying treatment by biofilm in a stretch of the river in the vicinity of the Benjamin Maranhão Botanical Garden in order to verify the efficiency of the treatment and its influence on the river's bathing ability within the limits of the Garden, environmentally benefiting the river, improving the provision of ecosystem services for visitors to the local. To assess the quality of the Jaguaribe River over the last ten years, physical, chemical and biological data were used at four sampling points, which will be subjected to descriptive statistical analysis. To demonstrate the efficiency of biotreatment, pre- and post-treatment analyzes and upstream and downstream analyzes of the bioremediation system were carried out in order to identify the efficiency of biotreatment. Data were compared using the free software statistical program R, using the Student's t-test. All parameters were carried out following the international methodology described in the 23rd edition of Standard Methods for the examination of Water and Wastewater.

Key-words: Environmental management; Urban River; Biotreatment; Biofilm; Atlantic forest.

LISTA DE ANEXOS

ANEXO I: DADOS DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO JAGUARIBE NA ÚLTIMA DÉCADA.....	129
---	------------

Figura 17. Variação de OD no Período Seco nos trechos analisados do Rio Jaguaribe nos anos de 2011 a 2021.....	97
Figura 18. Variação de OD no Período Chuvoso nos trechos analisados do Rio Jaguaribe nos anos de 2011 a 2021	98
Figura 19. Variação de DBO no Período Seco nos trechos analisados do Rio Jaguaribe nos anos de 2011 a 2021.....	99
Figura 20. Variação de DBO no Período Chuvoso nos trechos analisados do Rio Jaguaribe nos anos de 2011 a 2021	99
Figura 21. Variação de CT no Período Seco nos trechos analisados do Rio Jaguaribe nos anos de 2011 a 2021.....	100
Figura 22. Variação de CT no Período Chuvoso nos trechos analisados do Rio Jaguaribe nos anos de 2011 a 2021	100
Figura 23. Variação de Cor no Período Seco nos trechos analisados do Rio Jaguaribe nos anos de 2011 a 2021.....	101
Figura 24. Variação no Período Chuvoso nos trechos analisados do Rio Jaguaribe nos anos de 2011 a 2021	102
Figura 25. Variação de Cloreto no Período Seco nos trechos analisados do Rio Jaguaribe nos anos de 2011 a 2021	102
Figura 26. Variação de Cloreto no Período Chuvoso nos trechos analisados do Rio Jaguaribe nos anos de 2011 a 2021.....	103
Figura 27. Variação de Alcalinidade no Período Seco nos trechos analisados do Rio Jaguaribe nos anos de 2011 a 2021.....	103
Figura 28. Variação de Alcalinidade no Período Chuvoso nos trechos analisados do Rio Jaguaribe nos anos de 2011 a 2021	104
Figura 29. Variação de Acidez no Período Seco nos trechos analisados do Rio Jaguaribe nos anos de 2011 a 2021	104
Figura 30. Variação de Acidez no Período Chuvoso nos trechos analisados do Rio Jaguaribe nos anos de 2011 a 2021.....	105

Figura 31. Variação de Dureza no Período Seco nos trechos analisados do Rio Jaguaribe nos anos de 2011 a 2021	105
Figura 32. Variação de Dureza no Período Chuvoso nos trechos analisados do Rio Jaguaribe nos anos de 2011 a 2021	106
Figura 33. Ponto de intervenção no Rio Jaguaribe no trecho dentro do Jardim Botânico Benjamim Maranhão	114
Figura 34. Detalhes dos módulos de biotratamento colocados no Rio Jaguaribe no trecho dentro do Jardim Botânico Benjamim Maranhão	115
Figura 35. Área de adesão do biofilme aquático colocada no Rio Jaguaribe no trecho dentro do Jardim Botânico Benjamim Maranhão	116
Figura 36. Estruturas submersas colocados no Rio Jaguaribe no trecho dentro do Jardim Botânico Benjamim Maranhão	117
Figura 37. Gráficos de Coliformes Termotolerantes analisados a montante e jusante do sistema de biorremediação com biofilme, instalado no Rio Jaguaribe dentro do Jardim Botânico Benjamim Maranhão	121
Figura 38. Gráficos de DBO analisados a montante e jusante do sistema de biorremediação com biofilme, instalado no Rio Jaguaribe dentro do Jardim Botânico Benjamim Maranhão.....	121
Figura 39. Gráficos de DQO analisados a montante e jusante do sistema de biorremediação com biofilme, instalado no Rio Jaguaribe dentro do Jardim Botânico Benjamim Maranhão.....	122
Figura 40. Gráficos de Amônia analisados a montante e jusante do sistema de biorremediação com biofilme, instalado no Rio Jaguaribe dentro do Jardim Botânico Benjamim Maranhão	123
Figura 41. Gráficos de Nitrito analisados a montante e jusante do sistema de biorremediação com biofilme, instalado no Rio Jaguaribe dentro do Jardim Botânico Benjamim Maranhão	124
Figura 42. Gráficos Nitrito analisados a montante e jusante do sistema de biorremediação com biofilme, instalado no Rio Jaguaribe dentro do Jardim Botânico Benjamim Maranhão.....	125
Figura 43. Gráficos de Fósforo Total analisados a montante e jusante do sistema de biorremediação com biofilme, instalado no Rio Jaguaribe dentro do Jardim Botânico Benjamim Maranhão	125

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Bairros do Curso do Rio Jaguaribe.....	45
Quadro 3. Poluição da Bacia do Rio Paraíba.....	80
Quadro 4. Coordenadas das Estações de Amostragem.....	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tecnologias de Tratamento de ETEs da Paraíba	39
Tabela 2. Padrões Resolução CONAMA 357/05	89
Tabela 3. Resultados Estatísticos do Teste-t de <i>Sudent</i>	120

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
- ADI – Ação Direta de Inconstitucionalidade
- APP – Área de Proteção Permanente
- BID – Banco Interamericano de Desenvolvimento
- BH – Bacia Hidrográfica
- BNH – Banco Nacional de Habitação
- CAGEPA – Companhia de Água e Esgotos da Paraíba
- CBH – Comitê de Bacia Hidrográfica
- CEAE - Companhia Estadual de Água e Esgoto
- CEF – Caixa Econômica Federal
- CESB – Companhias Estaduais de Saneamento Básico
- CMSB – Companhia Municipal de Saneamento Básico
- COFINS – Contribuição para Financiamento da Seguridade Social
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
- DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
- DQO – Demanda Química de Oxigênio
- DZS – Diretriz
- ETA – Estação de Tratamento de Água
- ETE – Estação de Tratamento de Esgoto
- EPS – *Extracellular Polymeric Substances* – Substâncias Poliméricas Extracelulares
- FGTS – Fundo de Garantia por Tempo de Serviço
- FSESP – Fundação Serviços Especiais de Saúde Pública
- FUNASA - Fundação Nacional da Saúde
- HPA – Hidrocarboneto Policíclico Aromático
- IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e do Recursos Naturais
- JBBM – Jardim Botânico Benjamim Maranhão
- LA – Lagoa Anaeróbia
- LF – Lagoa Facultativa
- OMS – Organização Mundial da Saúde
- PASEP – Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público
- PIB – Produto Interno Bruto
- PIS – Programa de Integração Social

PLANASA – Plano Nacional de Saneamento

PLANSAB – Plano Nacional de Saneamento Básico

PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos

REISB – Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento do Saneamento Básico

RVD – Refúgio de Vida Silvestre

SDT – Sólidos Dissolvidos Totais

SELAP – Sistema Estadual de Licenciamento de Atividades Poluidoras

SEMAM – Secretaria Municipal de Meio Ambiente

STF – Supremo Tribunal Federal

SUDEMA – Superintendência de Administração do Meio Ambiente

SUDENE – Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste

UC – Unidade de Conservação

UF – Unidade Federativa

USIBEN – Usina de Beneficiamento de Resíduos Sólidos da Construção Civil

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	20
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	22
2.1	URBANIZAÇÃO E MODIFICAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS ..	22
2.1.1	Os rios e a chegada do século XX	24
2.1.2	Contribuição da urbanização na degradação da qualidade da água de rios urbanos	26
2.2	RIOS URBANOS E SEUS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS	29
2.3	SANEAMENTO BÁSICO NO BRASIL	31
2.4	TRATAMENTO DE EFLUENTES NO BRASIL	37
2.4.1	Tratamento de Efluentes na Paraíba	38
2.4.2	Sistema de Tratamento australiano	41
2.5	RIO JAGUARIBE	42
2.5.1	Caracterização da Bacia Hidrográfica	44
2.5.2	Histórico de Ocupação da Bacia	46
2.5.3	Atual paisagem do Rio Jaguaribe	52
2.6	ÁREAS VERDES E O JARDIM BOTÂNICO BENJAMIM MARANHÃO	54
2.7	BIOTRATAMENTO COMO ALTERNATIVA PARA RECUPERAÇÃO DE RIOS	57
2.8	BIOFILME E PERIFÍTON	59
2.9	SUBSTRATOS PARA O BIOTRATAMENTO	60
2.10	INSTRUMENTOS NORMATIVOS À QUALIDADE DA ÁGUA	62
	REFERÊNCIAS	67
3	CAPÍTULO 1: AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE QUATRO TRECHOS DO RIO JAGUARIBE NA ÚLTIMA DÉCADA	77
3.1	INTRODUÇÃO	79
3.2	MATERIAL E MÉTODOS	80
3.2.1	Área de Pesquisa e Obtenção de Dados	80
3.2.2	Parâmetros Analisados	83
3.2.3	Tratamento dos Dados	89
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	90
3.3.1	Temperatura	90
3.3.2	Potencial Hidrognênico (pH)	91
3.3.3	Turbidez	93
3.3.4	Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	94
3.3.5	Condutividade Elétrica (CE)	95

3.3.6	Oxigênio Dissolvido (OD).....	96
3.3.7	Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO).....	98
3.3.8	Coliformes Termotolerantes (CT)	99
3.3.9	Cor	101
3.3.10	Cloretos	102
3.3.11	Alcalinidade	103
3.3.12	Acidez	104
3.3.13	Dureza Total	105
	CONCLUSÃO	106
	REFERÊNCIAS	108
4	Capítulo 2: Avaliação do biotratamento por biofilme em trecho do rio jaguaribe NAS DEPENDÊNCIAS do jardim botânico.....	110
4.1	INTRODUÇÃO.....	112
4.2	MATERIAIS E MÉTODOS.....	113
4.2.1	Área de Pesquisa.....	113
4.2.2	Métodos de Intervenção.....	114
4.2.3	Parâmetros Analisados.....	117
4.2.4	Tratamento Estatístico	119
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	119
	CONCLUSÃO	126
	REFERÊNCIAS	128

1 INTRODUÇÃO

A busca por crescimento econômico motivou a existência da ocupação desordenada, que agravou sob o ponto de vista ambiental os espaços próximos aos rios urbanos, devido ao alto nível de vulnerabilidade desses ecossistemas. Com isso, o ambiente litorâneo, que vem sendo frequentemente ocupado de maneira incorreta, provoca impactos negativos nos recursos naturais como, a contaminação dos corpos hídricos receptores e das praias, aterramento de mangues e deposição de lixo nas margens dos estuários e praias (BARROS, 2020).

O principal fator dos problemas dos rios urbanos no desenvolvimento das cidades em seus aspectos de preservação ambiental, equidade social e crescimento econômico, advêm das ações ou omissões da esfera político-administrativa das instituições do Estado e Município, que refletem na população através do desempenho de indicadores sociais e econômicos. Ou seja, o conflito gerado entre o crescimento da malha urbana e os rios ou demais fatores provenientes de ecossistemas naturais caracterizados como Área de Preservação Permanente, é iniciado, quando as instâncias políticas e de gerenciamento municipal, não atuam no interesse coletivo do equilíbrio das diretrizes da sustentabilidade urbana (CANEPA, 2007; SILVEIRA, 1998).

Sendo assim, a realidade de muitos rios é de contaminação principalmente por dejetos e efluentes domésticos, que é o caso do Rio Jaguaribe, em João Pessoa. Sendo considerado um dos principais rios da cidade, responsável pela drenagem de 32 dos 64 bairros da cidade, tendo em sua bacia hidrográfica 41 assentos instalados por autoconstrução e de modo precário nas margens dos rios, encostas, no planalto e nos limites da mata do Buraquinho (Jardim Botânico Benjamim Maranhão).

Por ser um rio importante para drenagem da cidade de João Pessoa, esta pesquisa objetivou avaliar a qualidade da água do Rio Jaguaribe na última década e aplicar o tratamento por biofilme com a hipótese do biotratamento surtir efeito positivo na balneabilidade do corpo hídrico a fim de possibilitar contato primário seguro nas dependências do Jardim Botânico Benjamim Maranhão.

Esta dissertação está estruturada em capítulos, apresentando um para o referencial teórico, outro para tratar do histórico decenal da qualidade do Rio Jaguaribe e por último para testar os efeitos do biotratamento por biofilme aquático, como método de intervenção e restauração da qualidade da água, visando a balneabilidade. Para o desenvolvimento desta pesquisa foram realizadas parcerias com a Secretaria Municipal de Meio Ambiente e com a Superintendência de Administração do Meio Ambiente da Paraíba. O primeiro contribuindo

com parte do material para ser utilizado como substrato para o biotratamento e o segundo fornecendo os resultados das análises nos últimos 10 anos e contribuindo com as análises realizadas para testar a eficiência do método de intervenção.

Esta dissertação está apresentada em artigos e dessa forma a metodologia, descrição de área de estudo e resultados estão apresentados em cada um, conforme descrito abaixo:

Capítulo 1 – (AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE QUATRO TRECHOS DO RIO JAGUARIBE NA ÚLTIMA DÉCADA)

Capítulo 2 – (AVALIAÇÃO DO BIOTRATAMENTO POR BIOFILME EM TRECHO DO RIO JAGUARIBE NAS DEPENDÊNCIAS DO JARDIM BOTÂNICO)

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este tópico foi subdividido a fim de melhor abordar as características gerais acerca dos rios urbanos, suas funções ecossistêmicas, degradação que sofreram à frente das atividades antrópicas, bem como biotratamento por biofilme utilizado na recuperação de rios urbanos.

2.1 URBANIZAÇÃO E MODIFICAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

Após a apropriação do Brasil pelos portugueses e ao longo dos quatro séculos seguintes, o nosso território ficou marcado de impactos sucedidos de exploração indiscriminada dos recursos naturais, tanto no ambiente rural como urbano. Os impactos ambientais decorrentes desses quatro séculos de exploração dos recursos naturais foram muitos e de acordo com dados expostos pelo Ministério do Meio Ambiente (2009) a Mata Atlântica originalmente ocupava aproximadamente 16% do território brasileiro, cerca de 1.360.000 km², mas devido a ocupações e atividades humanas sobre ela, houve sua brutal redução e os últimos dados expõem que restam apenas 8% destas reservas, aproximadamente 108.800 Km². É importante ressaltar que há necessidade de dados mais atuais, que provavelmente evidenciam uma maior redução devido a queimadas e uso irregular do solo nesse bioma.

Levando em consideração que é comprovado que a qualidade e a vida dos rios estão profundamente relacionados e são garantidas pela estabilidade do solo, somado à presença da vegetação ciliar e da mata como um todo é correto inferir e afirmar que os impactos dos rios localizados na costa oriental brasileira decorrentes da subtração de praticamente 92% da Mata Atlântica, são inegáveis e não modestos, sendo relacionados com as atividades agrícolas e exploratórias descritas a seguir (ARAÚJO, ALMEIDA e GUERRA, 2005).

A monocultura de cana-de-açúcar e a produção de açúcar em face da economia colonial, exigiu que vastas extensões de terras fossem desmatadas, principalmente as mais planas e baixas, próximas a rios e estuários. A remoção da mata por si só já determinada o assoreamento dos corpos de água, pois o solo sem a proteção da vegetação e da serapilheira, sob ação da chuva, perde sedimentos e nutrientes que seriam carregados para as calhas dos rios e Riedel (1959, p. 23-37) afirmou que entre os séculos de XVIII e o início do século XIX havia na Paraíba aproximadamente 100 engenhos açucareiros.

Os solos agricultáveis, quando exauridos eram abandonados rapidamente e novas áreas de florestas eram desmatadas para o plantio de novas lavouras. Com o objetivo de alimentar os

moinhos e drenar terras encharcadas eram desviadas águas e assim alterou-se a dinâmica dos corpos de água (DIEB, 2013; RIEDEL, 1959).

Além disso, a extração de madeira dos manguezais implicou em mais assoreamento e na diminuição da oferta de peixes, mariscos e aves que dependiam deste ecossistema. A madeira retirada era utilizada no processo de fabricação de açúcar, consumo doméstico, comercial e também como fonte de energia para máquinas a vapor da ferrovia, de embarcações e nas indústrias que necessitavam de calor no processo produtivo. Vale salientar que segundo Dean (1996, p. 211) a lenha do mangue era preferida ao dispendioso carvão importado, tanto como preço quanto pelo fato de queimar mais lentamente e não deixar sedimentos de resinas (DEAN, 1996; DIEB, 2013).

O ciclo do ouro no início do século XVII também foi estabelecido seguindo curso de rios e ainda de acordo com Dean (1996) durante o século XVIII existiam diversas lavras de ouro. Embora fossem perceptíveis os sinais de comprometimento da qualidade dos recursos hídricos, principalmente dos relacionados com a atividade açucareira, nada se compararia aos impactos gerados pela busca dos metais e pedras preciosas, ocorrido no século seguinte. Foi evidenciado que devido ao ciclo do ouro diversos rios tiveram seus ciclos desviados, córregos secos, barras multiplicadas e nascentes mortas. A hidrografia que hoje vemos não é de forma alguma a encontrada pelos bandeirantes em fins do século XVII. Apesar de não apresentar dados consistentes sobre o uso do mercúrio, metal tóxico, supôs que ele já era utilizado para amalgamar o ouro. Com Base em práticas correntes na Amazônia, que a quantidade de mercúrio utilizada naquela época tenha chegado a cem toneladas, considerando que apenas 10% do minério extraído então tenham sido beneficiados desta maneira. Através disso ficou relacionado com a contaminação de mercúrio em regiões auríferas no século XVIII (FONSECA & PRADO FILHO, 2006; DIEB, 2013).

Além das atividades supracitadas e expostas, também ficou evidenciado historicamente que o cultivo do café que gerou desmatamentos, também causou impactos às águas doces, chegando inclusive a comprometer o abastecimento de água pelos danos que causou às nascentes, que por conseguinte provocou a desestabilização das margens dos corpos hídricos envolvidos. Partindo para informações já do século XIX, devido aos sedimentos lançados nos séculos anteriores nas águas, pelas atividades extrativistas, mineradoras, agrícolas, e pelo desmatamento, os rios perderam a navegabilidade e seus usos. Durante o referido século, os recursos hídricos naturais já evidenciavam impactos significativos resultantes das atividades antrópicas que visavam apenas resultados imediatos. Ao final da década de 80 diversos núcleos

urbanos brasileiros estavam ameaçados por questões sanitárias dada a ausência do poder público em prover serviços de limpeza urbana e infraestrutura básica de saneamento básico, além do total despreparo desses núcleos para atender demandas que cresciam em paralelo com a população urbana (DIEB, 2013).

Em busca de crescimento econômico, um desordenado crescimento urbano foi gerado, agravando, sob o ponto de vista ambiental, o espaço costeiro devido ao alto nível de vulnerabilidade desses ecossistemas. Essa demasiada urbanização submete a zona costeira a vários tipos de agressões ambientais causadas por fatores antrópicos como, industrialização, falta de saneamento básico adequado e produção agrícola.

A zona costeira do Estado da Paraíba apresenta um índice de urbanização variado, porém as localidades não urbanizadas correspondem praticamente a áreas de preservação (porções de mata atlântica, manguezais, restingas, espelho d'água), uso agrícola (destaque para a cultura de cana-de-açúcar) e loteamentos ainda não ocupados (BARROS et al., 2018).

Com isso, o ambiente litorâneo, que vem sendo frequentemente ocupado de maneira incorreta, provoca impactos negativos nos recursos naturais como, a contaminação dos corpos hídricos receptores e das praias, aterramento de mangues e deposição de lixo nas margens dos estuários e praias (BARROS, 2020).

2.1.1 Os rios e a chegada do século XX

No Brasil, o processo de ocupação da zona costeira foi intensificado a partir de 1960 e a partir disto muitas cidades sofreram de apropriação conflituosa de seus rios urbanos e apesar de ter expandido e empreendido modificações infraestruturais objetivando incorporar as mudanças trazidas pelas indústrias, principalmente, pela evolução dos meios de transporte, e pela população vinda do campo em busca de emprego, as cidades brasileiras seguiram sem ter encontrado a solução para as questões ambientais, principalmente as relacionadas com os rios urbanos. As cidades brasileiras sofreram desde o final do século XIX, profundas alterações em seu suporte geobiofísico através de técnicas higienistas, utilizando soluções de engenharia não compatíveis com os processos e fluxos naturais, principalmente quando se trata de recursos hídricos, pois ao se introduzir em um sistema natural de drenagem de água, um sistema de macrodrenagem que tenta retificar de acordo com a necessidade de demandas urbanas específicas, a dinâmica ambiental de equilíbrio, torna-se imprevisível no âmbito das cidades, principalmente se não têm tratamento de efluentes (DIEB, 2013).

O principal fator dos problemas dos rios urbanos no desenvolvimento das cidades em seus aspectos de preservação ambiental, equidade social e crescimento econômico, advêm das ações ou omissões da esfera político-administrativa das instituições do Estado e Município, que refletem na população através do desempenho de indicadores sociais e econômicos. Ou seja, o conflito gerado entre o crescimento da malha urbana e os rios ou demais fatores provenientes de ecossistemas naturais caracterizados como Área de Preservação Permanente, é iniciado, quando as instâncias políticas e de gerenciamento municipal, não atuam no interesse coletivo do equilíbrio das diretrizes da sustentabilidade urbana (CANEPA, 2007; SILVEIRA, 1998).

Muitos impactos são vistos como exclusivos do século XX, tendo contribuição pelo aumento da população urbana. Sabe-se que o impacto ao ambiente natural é inerente à urbanização, podendo ter maior ou menor poder destrutivo dependendo da forma como a urbanização se processa. Geralmente é observado que as situações mais severas são decorrentes de atividades pouco preocupadas com o uso racional dos recursos, que priorizam o desenvolvimento a qualquer custo, o imediatismo sem prevenção e planejamento. Além de danos ao ambiente natural, a crescente urbanização também apresenta danos socioambientais, que se originam da vontade ou necessidade de habitar nas cidades ou da apropriação indébita de terras vedadas à ocupação, com o intuito de favorecimento pessoal (DEIB, 2013).

O fato de muitas cidades terem se estruturado a partir do eixo de rios, se estabeleceram em um sistema em eterno movimento e de serem naturalmente o destino da drenagem pluvial, favoreceu a que estes fossem apropriados como infraestrutura de descarte de resíduos gerados nas cidades. Ainda que tal apropriação ocorra no Brasil desde os primórdios da ocupação territorial, o aumento de volume destes resíduos se intensificou a partir de meados do século XX. Ainda que o saneamento básico brasileiro tenha passado a atender mais regiões urbanas, o seu crescimento ocorre de forma retardada, comparada com o aumento populacional das cidades. Embora o Código Florestal (Lei Nº 4.771/1965, atualmente Lei Nº 12.651/2012) tenha imposto restrições às Áreas de Preservação Permanente – APP com o intuito de proteger as florestas e demais formas de vegetação natural e em contrapartida as águas doces e outros patrimônios naturais e da paisagem brasileira, isso não é na maior parte das vezes respeitado. As APP são áreas estabelecidas ao longo dos rios e outros cursos de água, ao redor de lagoas, lagos ou reservatórios naturais ou artificiais, nascentes e olhos de água, topo de morros, montes, montanhas e serras, encostas ou partes destas, entre outras, são espaços que devem ser protegidos. Porém, o texto do Código não era claro quanto à sua aplicação no contexto urbano. Só a partir de 1978, quando entrou em vigor a Lei Federal Nº 6.535 (revogada pela Lei Nº

7.803/1989) que se fez clara a sua aplicação no ambiente urbano. Levando em consideração que o intervalo de 13 anos, muito do que a lei passou a proteger já não existia mais, principalmente no que se refere à vegetação que protegia o ambiente fluvial urbano, em face das dificuldades enfrentadas pelo poder público para interpretar, conciliar conflitos entre leis e aplicá-las, reunir pessoal capacitado para tal tarefa, empreender o monitoramento dessas áreas, assim como pela omissão no atendimento à demanda por moradia e empregos nas cidades (BRASIL, 1965; 1978; 1989; 2012; MARTINS, 2006; MELLO, 2008).

2.1.2 Contribuição da urbanização na degradação da qualidade da água de rios urbanos

A urbanização de forma extremamente intensiva aumenta a demanda pela água, ampliando o despejo de agentes contaminantes nos recursos hídricos naturais e apesar da importância desses recursos para o desenvolvimento das cidades e bem-estar da população, os corpos hídricos em geral vêm sendo utilizados como estruturas de saneamento e drenagem, transformando-se frequentemente em paisagens degradadas e condutoras de doenças (HOLZ, 2011; TUCCI, 2008).

De acordo com o Artigo 1º da Resolução CONAMA Nº 001/1986 entende-se por Impacto Ambiental

Qualquer alteração das propriedades físicas, químicas, biológicas do meio ambiente causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades antropogênicas que possam afetar direta ou indiretamente a saúde, a segurança e o bem-estar da população humana, bem como as atividades sociais e econômicas, a biota, as condições estéticas e sanitárias ambientais e a qualidade dos recursos ambientais (BRASIL, 1986)

Já ações antrópicas, segundo Clements (2000), são consideradas como impactantes aquelas que ocasionam distúrbios no equilíbrio dinâmico, afetando em alguma escala o funcionamento natural das relações ecossistêmicas, e a influência do impacto diretamente proporcional à sua frequência, extensão espaço-temporal, sendo consideradas mais impactantes aquelas que alteram a resiliência do sistema impedindo o reestabelecimento da condição ambiental e biológica anterior. Neste sentido vale salientar que ao longo da história da humanidade, as ações antrópicas sem determinada cautela ou preocupação acarretam danos ao meio com perda dos recursos naturais. A formação de grandes civilizações se deu após migrações humanas com destino a áreas que eram naturalmente irrigadas e com fácil acesso à

água, sendo sempre relacionada com o desenvolvimento da sociedade desde a antiguidade, proporcionando a produção de energia elétrica, transporte aquaviário, oferta de água potável, agricultura e recreação. Essa elevada demanda de água para atender as necessidades para o desenvolvimento econômico e social inclui diversos obstáculos e a ausência de ações conscientes na gestão de recursos hídricos e ambiental por parte dos gestores públicos. Tais problemas que se apresentam local, regional e nacionalmente vêm construindo para o aumento de fontes de contaminação de recursos hídricos, diminuição em sua disponibilidade e qualidade, além de, por conseguinte, elevar a vulnerabilidade socioambiental e econômica em razão da contaminação e dificuldade de acesso a água de boa qualidade (SALLA et al., 2013; SOUXA, 2020; TUNDISI, 2003).

Com relação aos impactos negativos aos corpos hídricos, a Resolução CONAMA Nº 430/2011 apresenta a definição de alguns termos importantes e bastante abordados neste trabalho, sendo eles:

- Capacidade de suporte do corpo receptor: corresponde ao valor máximo de determinado poluente que o corpo hídrico pode receber sem afetar a qualidade da água e seus usos especificados na classe de enquadramento do referido corpo receptor;
- Efluente: Termo utilizado para representar os despejos líquidos oriundos de diversas atividades ou processos;
- Esgotos sanitários: denominação para os despejos líquidos residenciais, comerciais, águas de infiltração na rede coletora, os quais podem conter efluentes industriais e efluentes não domésticos;
- Parâmetro de qualidade do efluente: parâmetros ou indicadores representativos de substâncias contaminantes, toxicológica e ambientalmente relevantes do efluente.

É conhecida e amplamente vista duas formas corriqueiras de poluição aos recursos hídricos, em especial aos rios urbanos, sendo a primeira proveniente de comunidades ribeirinha que não possuem esgotamento sanitário, incorporando os poluentes ao corpo hídrico ao longo de sua extensão e a segunda advinda de ETEs que apesar de atenderem as exigências mínimas da legislação vigente, ainda lançam uma carga de matéria orgânica e de nutrientes maior que o corpo hídrico pode receber, alterando o estado trófico no ambiente (SOUZA, 2020). Por outro lado, muitas empresas coletoras de esgoto, coletam-no e devolvem aos rios, sem tratamento (TRATA Brasil, 2022).

Quando os corpos hídricos já estão com a sua qualidade comprometida, ultrapassando sua capacidade de autodepuração devem ser tomadas atitudes que busquem recuperar sua

qualidade e garantir seus usos descritos na Resolução CONAMA Nº357/05 (BRASIL, 2005). Autodepuração, por sua vez, é definido por Salla et al. (2013) como:

conjunto de mecanismos naturais dos cursos de água capaz de neutralizar as alterações decorrentes de lançamento de efluentes e reestabelecer novamente o equilíbrio do meio aquático, podendo ser entendida também como um fenômeno em que há sucessão ecológica, uma vez que não há um restabelecimento absoluto da qualidade do rio (Salla et al. 2013).

Então, entende-se que esse processo pode precisar de dezenas de quilômetros, a depender das características e da carga contaminante despejado no corpo hídrico (SALLA et al., 2013; SOUZA, 2020).

Levando em consideração a autodepuração e a possibilidade de eutrofização nos meios aquáticos, os efluentes de qualquer fonte para que possam ser lançados diretamente em um corpo receptor, ou após tratamento, devem atender as condições exigidas nas resoluções vigentes, sendo as resoluções CONAMA Nº 357/05, que enquadra o corpo receptor, e a Nº430/11 que aponta os valores máximos permitidos de diversos parâmetros, a serem avaliados antes do lançamento.

Outro impacto ambiental negativo em rios urbanos que vale ressaltar é a transformação desses rios em vias fechadas ou canais, comprometendo todo o sistema natural, a qualidade da água, a biota e possibilitando o uso de sua estrutura para despejo de efluentes domésticos e industriais, além de implicar também em alterações no seu regime hidrológico natural, perda de biodiversidade, pode provocar inundações, assoreamento e elevar a concentração de sedimentos. Além de causar eutrofização nos corpos hídricos devida à alta carga de nutrientes advinda de efluentes (SOUZA, 2020; TUCCI, 2006).

Os efeitos negativos da eutrofização seguem um efeito em cascata. Ocorre um incremento expressivo de algas e/ou proliferação de macrófitas (plantas) aquáticas, profundas alterações da biota com a substituição de espécies de peixes e outros organismos, decomposição orgânica, consumo e depleção de oxigênio dissolvido às vezes até a anoxia¹, liberação de gases com odores característicos, produção de substâncias tóxicas, degradação da qualidade da água com alterações em diversos parâmetros como cor, turbidez, transparência, DBO, condutividade elétrica, sólidos dissolvidos totais, sem contar que propicia boas condições para o

¹ Ausência de Oxigênio Dissolvido (SOUZA, 2020).

desenvolvimento de mosquitos, larvas e outros vetores de doenças de veiculação hídrica (AZEVEDO NETO, 1988; SOUZA, 2020).

Vale salientar que um ambiente eutrofizado com elevada biomassa fitoplanctônica e/ou de macrófitas aquáticas dificulta a penetração de luz no corpo hídrico, limitando a produção de oxigênio dissolvido para a coluna de água, gerando como consequência disto a produção de metano por bactérias metanogênicas e anaeróbias, bem como a produção do gás sulfídrico causando um odor característico, com mau odor, advindo da demanda de consumo de oxigênio pelos microrganismos e a taxa de decomposição anaeróbica (SOUZA, 2020).

2.2 RIOS URBANOS E SEUS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS

No contínuo processo de construção da paisagem fluvial urbana estão envolvidas a humanidade e a natureza. Desde os primórdios as alterações realizadas em busca do desenvolvimento social comprometem o ambiente, causando impactos negativos e que modificam totalmente a paisagem natural e ecossistemas completos. Para compreensão da dinâmica do ambiente urbano é importante destacar que os rios contribuem significativamente para o equilíbrio ambiental, tendo em vista que são corredores biológicos em meio a seu tecido, são referências insubstituíveis na paisagem, estão intimamente ligados à história, à cultura, ao desenvolvimento socioeconômico de cada lugar e, no tocante simbólico representam movimento, onde suas águas correm e nunca passam duas vezes pelo mesmo lugar (DIEB, 2013).

Os rios denominados urbanos interagem com um complexo sistema com dinâmicas socioambientais da cidade e proporcionam diversos benefícios aos seus habitantes com diversas características biológicas e geomorfológicas. Estes rios urbanos levam aos habitantes da zona urbana a aproveitar dos serviços ecossistêmicos, principalmente os de harmonia paisagística e de drenagem. É possível destacar a manutenção e a melhoria do microclima urbano, refúgio para a fauna silvestre e subsistência das populações ribeirinhas. Esses são serviços que refletem com impacto positivo na cidade por meio das diretrizes e indicadores sociais, ambientais, econômicos e nos projetos de mobilidade e de saneamento ambiental (REIS, 2016; ROSSI et al., 2015; SOUZA, 2020).

O conceito para o termo “serviços ecossistêmicos” era os benefícios que as populações humanas obtêm, direta ou indiretamente, das funções ecossistêmicas (COSTANZA et al., 1997), porém o conceito utilizado atualmente é: “os benefícios que as pessoas obtêm dos ecossistemas” (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005). Estes serviços ecossistêmicos são classificados, a saber: serviços de suporte, como formação do solo, fotossíntese e ciclagem de

nutrientes; Serviços de provisão, que são os produtos obtidos, como o fornecimento de alimento, água e madeira; Serviços reguladores, que são os benefícios que regulam as condições ambientais, condições climáticas, controle de doenças, resíduos e qualidade da água; e Serviços culturais, que são os benefícios recreativo, estético e espiritual (TAVARES et al., 2021). Lembrando que esses serviços são relacionados com os seres humanos, não sendo considerados os serviços ecossistêmicos realizados para a biota por si só.

Apesar da importância desses recursos lógicos e seus serviços ecossistêmicos no desenvolvimento e bem-estar da população, os rios urbanos não são considerados nos planejamentos de muitas cidades, sendo utilizados como estruturas de saneamento e drenagem e tendo suas paisagens degradadas e poluídas. Somado a isso existem outras atividades antrópicas, que são consideradas como aquelas que ocasionam diversos distúrbios no equilíbrio dinâmico afetando em alguma escala o funcionamento natural dos ecossistemas, cuja influência de um impacto está diretamente proporcional à sua frequência, extensão espaço-temporal, sendo mais impactantes aqueles que alteram a resiliência dos sistemas e/ou dos organismos, impedindo o restabelecimento da condição ambiental e biológica anterior (BURGESS, 1997; CLEMENTS, 2000).

Essas alterações consequentes dos impactos sofridos pelos rios diminuem a capacidade desses ambientes em manter a abundância em sua biodiversidade e características biológicas e geomorfológica. Ainda nas questões que envolvem recursos hídricos e áreas verdes em zonas metropolitanas, a principal função ecossistêmica que a cidade confere é apenas de rede de drenagem para as águas da chuva e ou esgoto tratado. Lembrando que está destacado que em alguns rios em João Pessoa, parte do esgoto lançado nos rios é bruto. Problemas que vão desde o lançamento de efluentes domésticos e industriais brutos e tratados a assoreamento por resíduos sólidos, captação indevida por carros pipa, despejo de efluentes de pocilgas e vacarias, construções e desvios no curso do rio e eutrofização. Contudo, esses impactos são observados separadamente em trechos diferentes, ora havendo problemas na nascente, ora no médio ou baixo curso (ROWSELL, 1997; REIS, 2016; SOUZA, 2020).

Devido aos fatores citados, os aspectos de qualidade da água do rio ficam seriamente comprometidos por diversos fatores. Isso se observa em quase todos os rios urbanos em João Pessoa, desde a nascente até à sua foz. Em alguns trechos, a capacidade de autodepuração do rio chega a ficar comprometida onde a urbanização é mais agressiva. Esses locais estão identificados nos resultados através das análises físicas, -químicas e microbiológicas realizadas em campo, mas ainda restam trechos do rio que mantêm a qualidade para manter o

enquadramento e a classificação dos rios, segundo a Resolução N° 357, de 17 de março de 2005 e comprovado pela SUDEMA.

Posto isso, é correto supor que os danos causados pela urbanização desenfreada e mal planejada é inerente à perda de serviços ecossistêmicos dos rios urbanos e das áreas verdes urbanas para com a população. Com a qualidade da água desses cursos comprometida diversos benefícios são perdidos e atividades interrompidas, como o abastecimento para consumo humano; proteção das comunidades aquáticas; recreação de contato primário como natação, mergulho e esqui aquático; irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer que tenham contato direto com o público; aquicultura e atividade de pesca.

2.3 SANEAMENTO BÁSICO NO BRASIL

Um dos problemas enfrentados a partir de ações antropogênicas é a tão conhecida e discutida falta de saneamento básico. Em 10 de julho de 1934 entrou em vigor o Código de Águas no Brasil, através do Decreto N° 24.643 (BRASIL, 1934) que estabelecia a cobrança pelos serviços de fornecimento de água. No entanto, os serviços de abastecimento de água e coleta de esgoto só passaram a ser cobrados em 1952 a partir da criação da Fundação Serviços Especiais de saúde Pública – FSESP, que atualmente é a Fundação Nacional da Saúde – FUNASA (SILVA, 2020).

A partir da década de 1960, com a pressão ocasionada pelo desenvolvimento econômico em eventos e agências internacionais, aconteceram transformações significativas na concepção e estruturação do saneamento básico, com destaque para o abastecimento de água, no Brasil com a Conferência de Punta del Este (1962) e o Banco Interamericano de Desenvolvimento – BID, que proporcionaram incrementos financeiros que possibilitaram a criação das Companhias Estaduais de Água e Esgoto – CEAE, em 1962, tendo a Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste – SUDENE como indutora da criação das CEAE no nordeste brasileiro. E, com isto, as CEAE foram criadas, na sua maioria, para atender as maiores concentrações populacionais da época. Enquanto a União ficou incumbida pelo aparato regimental e financeiro, oriundo do Fundo de Garantia por Tempo de Serviço – FGTS aos Estados, que por sua vez, criaram as Companhias Estaduais de Saneamento Básico – CESB e os municípios ficaram responsáveis pelas outorgas aos prestadores de suas Unidades Federativas – UF para receberem os serviços de saneamento. No entanto, os municípios ou regiões metropolitanas que já possuíam companhias Municipais de Saneamento Básico – CMSB, ficaram contra as imposições federais e então, cerca de 25% das CMSB existentes mantiveram seus serviços de

água e coleta de esgoto, resistindo às pressões monopolistas das políticas estaduais (FRANCHINI NETO, 2005; PEREIRA JÚNIOR, 2008; SALLES, 2009; TEIXEIRA et al., 2015; MELLO, 2018;).

Durante as décadas de 1960 e 1970 os recursos financeiros foram aplicados principalmente na construção e/ou ampliação das CESB/CMSB, tendo maior enfoque no abastecimento de água e aparelhamento técnico-operacional (SALLES, 2009), em municípios que apresentavam maior potencial de retorno dos investimentos, com a justificativa que os retornos subsidiariam os municípios com menores capacidades (GAMA, 2010) e para permitirem a tarifação mais baixa praticadas pelas CESB/CMSB (PEREIRA JÚNIOR, 2008).

Nos anos posteriores foram estabelecidas metas que objetivavam atingir, até o ano de 1980, 80% dos domicílios urbanos com abastecimento de água e 50% com coleta de esgoto pelo Banco Nacional de Habitação – BNH e o Plano Nacional de Saneamento – PLANASA, pois em 1970 os domicílios que já possuíam abastecimento de água era um pouco mais que a metade enquanto a coleta de esgoto menos de 25%. Então, para alcançar estes objetivos os estados brasileiros receberam linhas de financiamento com juros baixos e aplicação de cobrança tarifária pelos serviços prestados, baseado em viabilidade econômica. Diante do cenário da época, o abastecimento de água foi priorizado em relação à coleta e tratamento do esgoto sanitário, permitindo que doenças de veiculação hídrica continuassem a vitimar populações em áreas de ocupação irregulares, ribeirinhas, pobres e negras ao tempo que aumentavam os gastos em saúde pública com tais patologias até os dias atuais (GAMA, 2010; JESUS, 2017; SALLES, 2009).

Devido a severas transformações nos cenários político e econômico enfrentados nas décadas de 1980 e 1990, várias companhias de saneamento, principalmente as estaduais, ficaram endividadas com a União e com muitas dificuldades na liberação de novos créditos junto ao governo federal, com isso várias foram as justificativas para a privatização do setor, a saber: precariedade do setor de saneamento; incapacidade na prestação de serviços ao ritmo do crescimento demográfico; os endividamentos com agências nacionais e internacionais; e o fracasso da execução do subsídio cruzado, mantido por orçamento tarifário. Isso aumentou ainda mais a pressão sobre o setor e em 1995 o presidente, Fernando Henrique Cardoso estabeleceu as leis nº 8987/1995 e 9074/1995 que estabeleceram as concessões no país. Já em meados da década de 1980 o PLANASA deixou de existir, passando parte de suas atribuições para a FUNASA, enquanto o BNH foi extinto, dando lugar à Caixa Econômica Federal – CEF. Apesar disso, as CESB continuaram a operar no mesmo modal até o início dos anos 2000,

contraindo empréstimos do FGTS e usando o princípio do subsídio cruzado (SALLES, 2009; MELLO, 2018).

Apesar da diferença significativa nas perspectivas comparada aos anos 1960, o abastecimento de água e coleta de esgoto não conseguiram acompanhar a demanda crescente do crescimento demográfico percebido em todo o país, principalmente nos grandes centros e regiões metropolitanas, fomentados pelos movimentos migratórios, oriundos da região nordeste para o sudeste e sul. Esse avanço na urbanização entre os anos 1960 e 1980, aumentou de maneira frenética a moradia em zonas irregulares, dificultando o abastecimento de água potável e o afastamento dos habitantes de seus efluentes domésticos gerados, pela incapacidade de coleta nessas zonas de risco. Portanto, tornou-se frequente a formação de córregos e valas, conduzindo esgotos a céu aberto para os rios e lagos das proximidades (JESUS, 2017, MELLO, 2018).

O histórico do negligenciamento do Estado com relação à elaboração de políticas públicas de saneamento básico, notadamente para com os residentes em áreas de ocupação irregular, proporcionou um significativo aumento na pressão ambiental causando impactos negativos como desmatamento, poluição, eutrofização, bem como na saúde pública pela alta demanda por internação devida a doenças recorrentes por veiculação hídrica. Em 2007, foi criada a Lei nº 11.445 que regulamenta o saneamento básico em âmbito federal, sendo um marco regulatório para o saneamento básico e o alicerce do Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANSAB. Anteriormente existiram outras tentativas para o estabelecimento normativo do saneamento básico, como exemplo o Projeto de Lei da Câmara – PLC 199/1993 que poderia ter elevado o país a um patamar mais avançado no que remete ao saneamento nos anos que seguiram, se não tivesse sido vetado de forma integral na época (MELLO, 2018).

A Lei 11.445/2007 foi baseada nos termos da Lei 9.433/1997 (Lei das Águas) a fim de estabelecer as diretrizes nacionais para o saneamento básico e criar o Comitê Interministerial de Saneamento Básico. A lei trouxe a definição de saneamento básico como o acesso à água potável e esgotamento sanitário, drenagem de águas pluviais e manejo dos resíduos sólidos urbanos. Atualmente a lei encontra-se quase em sua totalidade revogada ou alterada por leis posteriores que desmembram os alvos da definição do saneamento, além de resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, a saber:

- Resolução 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, estabelecendo as condições e padrões de lançamentos de efluentes, alterada pelas resoluções CONAMA Nº 393/2007, que

trata do descarte contínuo de água de processo ou de produção em plataformas marítimas de petróleo e gás natural, CONAMA Nº 410/2009, tratando do prazo para a complementação das condições e padrões de lançamento de efluentes e a CONAMA Nº 430/2011, que trata das condições e padrões de lançamento de efluentes complementando a Resolução CONAMA N357/05;

- Lei Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluindo os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis;
- Lei Nº 2.914, de 12 de Dezembro de 2011, que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, em conjunto com a Portaria GM/MS Nº888, de 4 de maio de 2021, que altera o anexo XX da portaria de consolidação GM/MS Nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão potável, estabelecendo limites de quantificação para avaliação da qualidade da água;
- Lei Nº 12.862, de 17 de setembro de 2013, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, com o objetivo de incentivar a economia no consumo de água;
- Lei Nº 13.329, de 1 de agosto de 2016, que estabelece diretrizes nacionais para criar o Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento do Saneamento Básico – REISB, com o objetivo de aumentar o volume de investimentos por meio da concessão de créditos relativos à contribuição para o Programa de Integração Social – PIS e para o Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público – PASEP e à Contribuição para Financiamento da Seguridade Social – COFINS;
- Lei Nº14.026, de 15 de julho de 2020, que atualiza o marco do saneamento básico para atribuir a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA a competência para editar normas sobre o serviço de saneamento, para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País, para tratar dos prazos para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, entre outros.

Anteriormente à Lei Nº 11.445/07 existiram ações governamentais que auxiliaram na evolução do saneamento básico, durante décadas passadas, umas com mais impactos que outras, mas sempre aos interesses dos governantes e não como prioridade de Estado ou como responsabilidade em favor da sociedade (MELLO, 2018; SALLES, 2009).

A partir de março de 2013, através de Ação Direta de Inconstitucionalidade – ADI Nº 1842, pelo Supremo Tribunal Federal – STF, que os serviços de saneamento básico ficam sob a titularidade municipal, porém, podendo existir regulamentação, gestão e execução por parte do município que obtiver recursos financeiros e capacidade técnica-operacional para prestar serviços de saneamento básico com excelência no município. Caso o município não disponha das prerrogativas, individualmente, pode associar-se a outros, formando um consórcio para atender aos respectivos municípios, ou o ente regulador pode ser estadual. A decisão do STF foi imprescindível para regulamentar a questão da titularidade dos serviços de saneamento na construção de uma política pública federal compartilhada, formada pela União, Estados e Municípios, pois anterior a esta decisão a responsabilidade tramitava entre as instâncias (JESUS, 2017; MELLO, 2018; SALLES, 2009).

Ainda em 2013, o Ministério das Cidades noticiou um estudo mostrando que para a universalização dos serviços de saneamento básico seriam necessários R\$ 250 bilhões até 2033, ou R\$ 12,5 bilhões anuais de investimento no período. Porém o real valor investido entre 2008 e 2011 foi de R\$7,75 bilhões e entre 2012 e 2016 foi de R\$ 10,98 bilhões. O investimento foi projetado para alcançar a universalização dos serviços de abastecimento de água, coleta e tratamento de esgoto entre 2014 e 2033 foi calculada pelo PLANSAB em R\$15,2 bilhões anuais. Apesar dos avanços, ainda irão necessitar de grandes desdobramentos para alcançar as metas (CNI, 2016; FERREIRA et al., 2016; PLANSAB, 2015).

Estas omissões históricas apontam os problemas e as dificuldades que a sociedade e o meio ambiente no setor de saneamento, provocadas pelas omissões históricas nas três esferas do executivo, quanto às questões legais, regulatórias, políticas e econômicas, apontam vários problemas como inexistência de instrumentação legal que assegure a prestação de serviços de saneamento básico para a população brasileira que vive em áreas irregulares, inexistência de proteção e manutenção de mananciais, perdas de água durante a distribuição, precarização do setor como justificativa para privatização, entre outras (ANA, 2017; PLANSAB, 2015; MELLO, 2018).

No que tange à poluição de recursos hídricos e rios urbanos, sobressai a poluição por esgotos e sua relação com a insuficiência das Estações de Tratamento de Esgoto – ETEs e Estações de Tratamento de Água – ETA em remover contaminantes químicos emergentes, que são parâmetros que ainda não estão dispostos em valores máximos permitidos, em normas ou resoluções, mas que necessitam de mais estudos para a compreensão de seus potenciais poluidores e suas interações com os organismos. Então, desreguladores endócrinos (substância

(as) exógena (as) que alteram funções do sistema endócrino, causando efeitos adversos sobre a saúde do organismo), pesticidas, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos – HPA, fármacos, cosméticos e outros compostos orgânicos sintéticos, estão cada vez mais presentes nos corpos hídricos receptores de ETE ou em reservatórios para abastecimento de ETA (RAMDINE et al., 2012; RQI, 2013).

Portanto, a falta de clareza quanto a esses novos contaminantes supracitados prejudica a elaboração de diretrizes regulatórias e o desenvolvimento de técnicas para o tratamento de água para abastecimento das populações, águas residuárias ou lançamento em corpos hídricos. Embora existam trabalhos que relacionem os contaminantes emergentes com o advento de certos tipos de cânceres ou desregulação no sistema endócrino de organismos aquáticos e no próprio homem, o amplo desconhecimento com relação a estes contaminantes têm dificultado a atualização legal e regulatória do setor de saneamento (RQI, 2013; SILVA, 2013; MELLO, 2018).

Até o presente estudo, o saneamento básico brasileiro demonstra ineficiência e problemas para cumprir com os compromissos nacionais e internacionais em água tratada e na coleta e tratamento de esgoto. Apesar da alteração no marco do saneamento básico com a Lei Nº 14.026 de 15 de julho de 2020, que altera diversas leis anteriores com a finalidade de aprimorar as condições estruturais do saneamento básico brasileiro, tratar prazos para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos e para autorizar a União a participar de fundo com a finalidade exclusiva de financiar serviços técnicos especializados, o país ainda não oferece um saneamento básico satisfatório para assegurar a saúde e o bem-estar da população. Em análise a 14ª edição do *Ranking* do Saneamento (TRATA BRASIL, 2022), um relatório do cenário brasileiro quase dois anos depois de entrar em vigor o Novo Marco Legal do Saneamento, foi possível constatar que: quase 35 milhões de pessoas no Brasil vivem sem água tratada; cerca de 100 milhões não têm acesso à coleta de esgoto; frequentes doenças de veiculação hídrica, evitáveis, acometem brasileiros e apresentam risco de morte por contaminação; somente 50% do volume do esgoto do país recebe tratamento, equivalente a 5,3 mil piscinas olímpicas de esgoto *in natura* são despejados diariamente no ambiente; os investimentos atingiram R\$ 13,7 bilhões, valor insuficiente para que sejam cumpridas as metas da legislação atualizada. Desta forma, o país ainda enfrenta problemas corriqueiros, já identificados, que afetam a sociedade, a economia e o meio ambiente (BRASIL, 2020; TRATA BRASIL, 2022; VASCO, 2022).

2.4 TRATAMENTO DE EFLUENTES NO BRASIL

O propósito das ETEs é retirar a maior parte do material sólido do efluente, permitindo devolvê-la mais limpa à natureza, baseada na Resolução CONAMA nº430/2011, que dispõe das condições e padrões de lançamento de efluentes. Para se conhecer o grau de impurezas, têm-se como referência o parâmetro de Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO, que mede a quantidade necessária de oxigênio para estabilizar biologicamente a matéria orgânica presente numa amostra, possibilitando medir a eficiência do tratamento da ETE. O tratamento de esgotos objetiva estabilizar a matéria orgânica para dispor o efluente no meio ambiente causando danos mínimos ao mesmo, assim, quanto maior a DBO maior o grau de poluição e conforme ocorre a estabilização da matéria orgânica, a DBO é reduzida (SNS, 2021)

Ainda com base na CONAMA 430/2011, a ANA classifica os tipos de ETEs em operação no Brasil em quatro grupos (ANA, 2017). Os três primeiros grupos são relacionados com as taxas de remoção de matéria orgânica (até 60%, entre 60 a 80% e acima de 80%, respectivamente) e o último grupo com faixa de remoção da matéria orgânica acima de 80% e depleção de nutrientes fosfatados e nitrogenados. Vale salientar que a resolução em vigência exige redução mínima de 60% de matéria orgânica ou a capacidade de autodepuração do corpo hídrico receptor da ETE, que ao receber o efluente tratado não tenha sua classificação alterada, com base da Resolução CONAMA Nº 357/2005, que dispõe dos padrões para enquadramento dos corpos hídricos. Sendo assim, as ETEs podem ser divididas em:

- $\leq 60\%$ de remoção da matéria orgânica: corresponde ao maior processo de tratamento de esgoto, a capacidade varia entre 35 e 51%. Os mais representativos deste grupo são tratamentos de nível primário e tratamento com uso sequencial de Fossa Filtro, Fossa Séptica, Filtro Aeróbio, Tanque *Imhoff* e Filtro Biológico;
- Entre 60% e 80% o grupo com maior número de ETEs e segundo maior público atendido. Em sua maioria atingindo entre 66% e 78% de eficiência, os sistemas Lagoa Anaeróbia e Lagoa Facultativa, Reator Anaeróbio, Lagoa Anaeróbia, Lagoa Facultativa e Lagoa de Maturação, são os mais frequentes e de maior abrangência deste grupo;
- $> 80\%$ de remoção da matéria orgânica, com taxa de eficiência entre 80% a 89%. Lodos ativados Convencionais em Poço Profundo, Lodos Ativados de Aeração Prolongada, Reator Anaeróbio, Filtro Aeróbio e Decantador;
- $> 80\%$ na remoção de matéria orgânica como depleção de nitrogenados e fosfatados apresentam taxa de remoção entre 78% e 95% e taxas de remoção de nutrientes desconhecidas. Utilizam

Reator Anaeróbio, físico-químico com remoção de Fósforo, Lodos Ativados em Batelada e com remoção de Nitrogênio.

O “*Atlas dos Esgotos: Despoluição de Bacias Hidrográficas*” (ANA, 2017) expõe os avanços e desafios do esgotamento sanitário brasileiro, evidenciando o grave estado de negligência enfrentado por parte da população, resultado de políticas públicas de saneamento ineficientes ou ausentes mas não trata com enfoque os impactos negativos socioambientais relacionados ao deságue do esgoto tratado (ou não) pelas ETEs, que apresentam níveis tróficos elevados, embora seja reconhecida a relevância do assunto. A publicação de materiais como este é de suma importância para a elaboração de estratégias para a execução do PLAN SAB por parte dos órgãos competentes, tendo em vista que o trabalho foi produzido pelo órgão gestor de águas e saneamento básico, objetivando a promoção da gestão adequada dos recursos hídricos para uso racional e sustentável (ANA, 2017; MELLO, 2018).

Sendo assim, predominam nas ETEs do Brasil o sistema que remove entre 60% e 80% da matéria orgânica, em sua maioria sem algum tratamento posterior para remoção de nutrientes nitrogenados e fosfatados, que estão associados com a eutrofização dos corpos receptores, diminuição da biodiversidade e extinções, que podem estar diretamente relacionadas com altas cargas de nutrientes. Seria de suma importância que os valores de N e P das águas residuárias em tratamento e a jusante do lançamento das ETEs fossem apresentados através de relatórios periódicos, por parte das companhias que desenvolvem o serviço de tratamento de efluente (ANA, 2017; MELO, 2018; RAMANAN, 2016).

Dada a ausência das informações de N e P em seu Atlas do Esgoto, a ANA (2017) fez projeções de investimento na ordem de R\$ 15 bilhões para a atuação de ETEs com remoção da matéria orgânica acima de 80% e extração de N e P até 2035, possibilitando inclusive o reuso dos efluentes dependendo do tratamento que for empregado posteriormente (MELLO, 2018).

2.4.1 Tratamento de Efluentes na Paraíba

No estado da Paraíba a responsável pela distribuição de água e coleta e tratamento de esgotos é a Companhia de Águas e Esgotos da Paraíba – CAGEPA, possuindo atualmente o sistema de esgotamento em 22 cidades, 9,87% do total de cidades do estado. A companhia atua no tratamento de esgotos com o objetivo principal de remover o material sólido, exterminar microrganismos patogênicos e reduzir as substâncias químicas indesejáveis e para isto são percorridas várias etapas, com tratamento preliminar, primário, secundário, tratamento de lodo e lagoas de estabilização, facultativas, anaeróbias e de maturação. A CAGEPA descreve os

módulos de tratamento, tendo como tratamento preliminar o gradeamento, a remoção de gorduras e caixas de areia. Como tratamento primário o decantador primário com tanques de decantação para remoção de sólidos em suspensão. Como tratamento secundário apresenta tanque de aeração, decantador secundário e retorno do lodo e o decantador secundário e retorno do lodo. Apresentam o tratamento do lodo (adensadores e flotadores), digestão anaeróbia, filtro prensa de placas, secador térmico, lagoas de estabilização, lagoas anaeróbias, facultativas e de maturação (GOVERNO DA PARAÍBA, 2022).

Tabela 1: Tecnologias de Tratamento de ETEs da Paraíba

ETE	População Atendida Estimada	Tecnologia de Tratamento	Corpo Hídrico Receptor
Alagoa Grande	12.137	L. Anaeróbia	Rio Mamanguape
Areia 1	3.916	S. Aust. + L. Matur.	S. I.
Areia 2	3.916	S. Aust. + L. Matur	S. I.
Cajazeiras	28.205	S. I.	S. I.
Cajazeirinhas	267	Fossa Séptica/Tanque Imhoff	Riacho Cajazeirinha
Campina Grande	312.870	L. Anaeróbia	S. I.
Catolé do Rocha	10.965	S. Australiano	S. I.
Cubati	1.458	S. Australiano	Riacho Cubati
Guarabira	28.437	S. Australiano	Rio Guarabira
Itaporanga	13.609	L. Facultativa	S. I.
Lagoa Seca	6.375	R. Anaer. + S. Aust. + L. Matur.	S. I.
Mamanguape	1.363	S. Australiano	S. I.
Mangabeira	248.258	S. Australiano	Rio Cuiá
Monteiro	13.857	S. Australiano	S. I.
Patos	7.083	Lagoa Aerada	Rio Espinharas
Pedras de Fogo	1.969	S. Australiano	Rio Utinga
Queimadas	12.423	S. Australiano	Rio Paraibinha
Roger	527.462	Lagoa Anaeróbia	S. I.
Santa Luzia	4.962	S. Australiano	Riacho Chafariz
S. José do B. do Cruz	152	S. Aust. + L. Matur.	Riacho do Brandão
Sapé	7.597	L. Facultativa	Riacho S. Salvador

Fonte: Adaptado. MELLO, 2018. Baseado em dados da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, 2017. *S.I.= Sem Informação

Das ETEs listadas na Tabela acima, todas promovem o tratamento de esgoto oriundo dos seus respectivos municípios, exceto a ETE do Roger, que recebe parte do esgoto urbano de

Cabedelo (14,3%) e de João Pessoa (67,6%), e a ETE de Mangabeira que é responsável pelo tratamento de 32,4% dos esgotos gerados em João Pessoa (MELLO, 2018).

Ainda de acordo com Mello (2018) muitas ETEs do estado da Paraíba operam acima da sua capacidade, comprometendo a qualidade do esgoto tratado e a salubridade do corpo hídrico receptor, colocando em risco a população que tenha contato com os efluentes tratados precariamente, além dos danos diretos ao meio ambiente. As ETEs que se encontram neste estado, operando com volume superior ao projetado, são as ETEs de Campina Grande, Mangabeira e Roger. Em contrapartida existem ETEs que possuem um potencial ocioso, recebendo um volume menor que o projetado, tendo como causa, algumas vezes, o efluente urbano que não é destinado para a rede pública de esgoto. Em síntese, o autor destaca que a tecnologia de tratamento de esgoto de maior ocorrência no estado da Paraíba é o sistema australiano, presente em 62% das ETEs no Estado.

As duas ETEs de João Pessoa são a de Mangabeira e do Roger, que além de operarem acima da sua capacidade utilizam o Sistema Australiano. A ETE de Mangabeira adota o sistema com o modelo de tratamento por lagoas de estabilização com duas Lagoas Anaeróbicas – LA, 3,7 m de profundidade e 0,4 ha de área, cada, seguida pela Lagoa Facultativa – LF, com 1,8 m de profundidade e 3,2 ha de área. A estação está localizada no município de João Pessoa com as seguintes coordenadas geográficas: S 7°11'21.01" W 44° 50'13.71". A ETE de Mangabeira, sendo responsável pelo tratamento de 32,4 dos esgoto do município atendendo aos bairros de Mangabeira, Valentina Figueiredo, Ernesto Geisel e Colinas do Sul, foi projetada pra atender um volume de 287,3 litros/segundo opera atualmente com 358,1 L/s, e desta forma a sobrecarga na estação compromete a qualidade do tratamento no efluente, aumentando o risco de eutrofização do seu CHR, o Rio Cuiá, que nasce em perímetro urbano, no Bairro do Grotão, e tem a sua foz no Oceano Atlântico, dentro dos limites da capital do estado (ANA, 2017, MELLO, 2018, OLIVEIRA, 2010; OLIVEIRA JÚNIOR, 2017; MENDONÇA e MENDONÇA, 2018).

A Bacia do Rio Cuiá, localizada no litoral sul do município de João Pessoa, formada pelos rios Cuiá, Gramame e Jacarapé, com 40 Km². A bacia conta com o Parque Municipal do Cuiá, com 42 hectares, localizado no Bairro do Valentina de Figueiredo, e apesar da bacia contar com esta Área de Proteção Permanente – APP está bastante descaracterizada devido à urbanização acelerada que acarretou na presença de moradia irregulares, atividade agropecuárias próximo das margens, remoção das matas ciliares, esgotamento clandestino, perda da biodiversidade e grandes limitações ao uso do rio, são exemplos de problemáticas

existentes atualmente na bacia do Rio Cuiá (MELLO, 2018; MENDONÇA e MENDONÇA, 2018).

Figura 1. ETE Mangabeira



Fonte: Autor, 2022.

2.4.2 Sistema de Tratamento australiano

O denominado sistema australiano é constituído por lagoa anaeróbica variando entre 4 e 5 metros de profundidade, seguido por lagoa facultativa, com profundidade de 1,5 a 3 metros. No primeiro tipo de lagoa, a anaeróbica, o efluente fica mantido de 2 a 5 dias e devido à profundidade, cerca de 50% a 70% da matéria orgânica é degradada neste estágio, tendo em vista que a taxa de Oxigênio Dissolvido – OD, é extremamente baixa. Porém, o efluente não é estabilizado nesta etapa, os organismos patogênicos e os nutrientes não são eliminados diretamente (CHERNICHARO et al., 2015a; CHAOUA et al., 2018; MELLO, 2018).

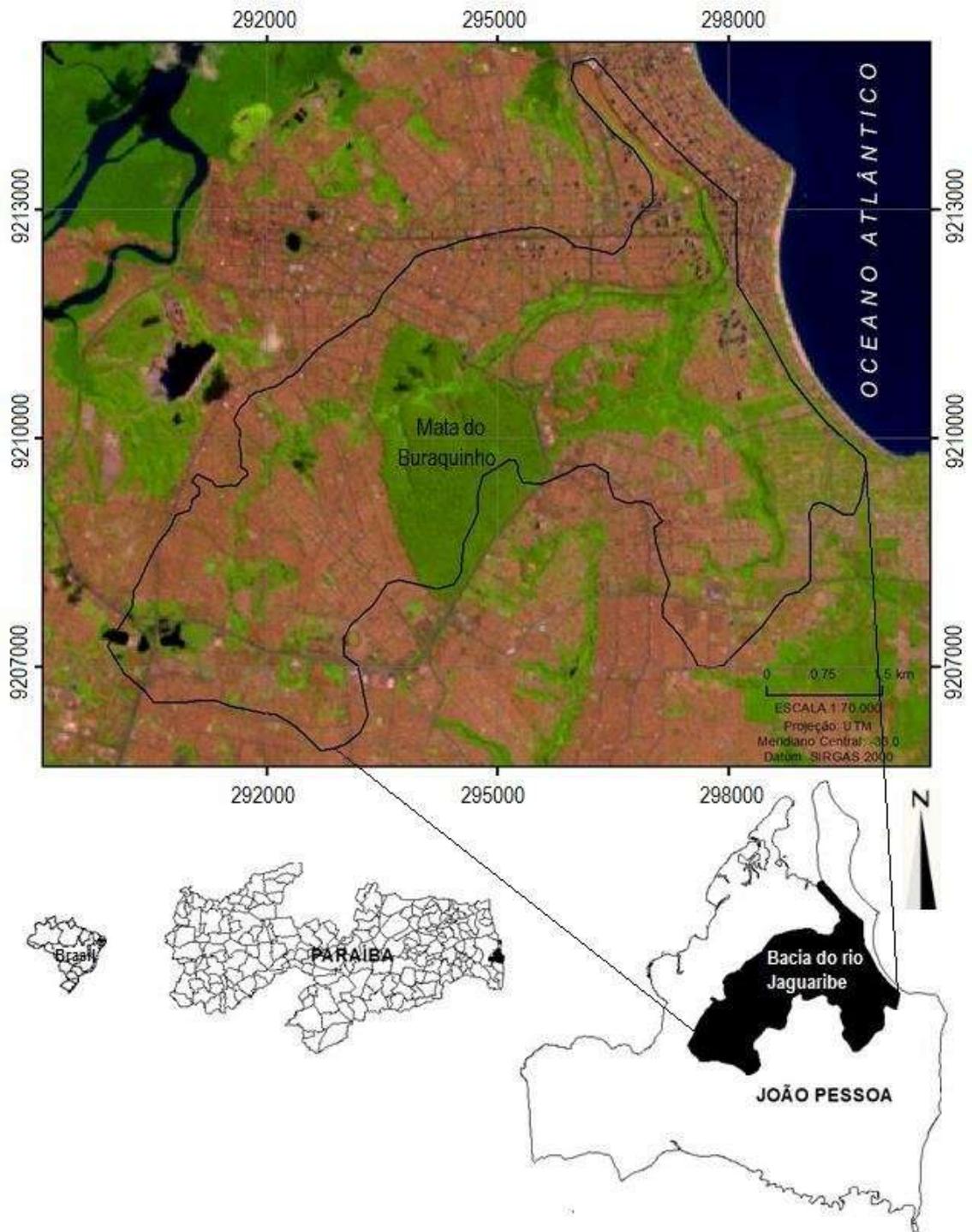
Apesar de muitas vezes este tipo de tratamento não apresentar as exigências descritas na Resolução CONAMA N° 430/2011, existem cerca de 68 ETEs que utilizam apenas a lagoa anaeróbia como tratamento de efluentes, que juntas atendem a aproximadamente 1 milhão de habitantes, de acordo com o relatório da ANA (2017). Após o período de permanência na lagoa anaeróbica, o efluente segue para a lagoa facultativa onde acontece a estratificação nas 3 zonas da lagoa, aeróbica, intermediária e anaeróbica, que possibilita a atuação destes microrganismos na remoção de matéria orgânica e estabilização do efluente com diminuição de patogênicos, resíduo da lagoa anterior e assim elevando a eficiência do sistema de tratamento antes que o efluente seja direcionado ao corpo hídrico receptor. Esse sistema demanda baixo custo

operacional e baixo consumo de energia elétrica, porém necessita de uma maior área de construção, levando em consideração as tecnologias mais modernas e eficientes de tratamento. Ao final do processo, a remoção de matéria orgânica geralmente atende ao valor mínimo de 60% designado pela resolução vigente, mas vale salientar que dependendo da carga orgânica de entrada, mesmo havendo no mínimo de 60% de remoção de matéria orgânica, o corpo receptor acaba sendo deteriorado em qualidade devido aos efluentes de ETEs deste modelo operacional. Além deste modelo também estar associado a alta produção de lodo e gases do efeito estufa, tem pouca contribuição na depleção de nutrientes (BRASIL, 2011a; ANA, 2017; TRATA BRASIL, 2017; CHAOUA et al., 2018).

2.5 RIO JAGUARIBE

A Bacia do Rio Jaguaribe está inserida quase que completamente no município de João Pessoa, Estado da Paraíba, limitada nas coordenadas UTM 9216000m N/ 299000 E e 9206000m N / 287000 E, sendo formada pelo Rio Jaguaribe (o principal) e Timbó, pequenos córregos, lagoas e insurgências. Segundo Dieb (2013), ambos os rios são considerados de pequeno porte tendo seus leitos, em condições normais, sem ultrapassar aproximadamente 20 m de largura. A bacia é responsável pela drenagem de uma área aproximada de 4.824,52 ha, tendo inseridos de forma parcial ou total 32 dos 64 bairros da cidade e 41 assentamentos instalados por autoconstrução e de modo precário nas margens dos rios, encostas, no planalto, nos limites da mata do Buraquinho (Jardim Botânico Benjamim Maranhão) e nas faixas das rodovias BR 101 e 230 e da rede de alta tensão que alimenta a cidade de energia elétrica, conforme exposto na figura abaixo:

Figura 2. Delimitação da Bacia do Rio Jaguaribe



Fonte: SANTOS et al., 2016.

Sendo o Rio Jaguaribe totalmente intraurbano e considerado um dos mais importantes da capital paraibana com sua nascente ao sul da malha urbana, nas proximidades do conjunto Esplanada, com a extensão de 21 Km em seu trajeto original, incluindo os 5,5 Km referentes

ao trecho conhecido por rio Morto² (sua antiga foz) nas proximidades da praia de Intermars, no município de Cabedelo – PB, e agora, após alterações em seu trajeto original, soma-se ao manguezal do Rio Mandacaru, (pertencente ao sistema estuarino do Rio Paraíba) e por conseguinte no Oceano Atlântico, no município de Cabedelo, possuindo então atualmente 19,1 Km de extensão (DIEB, 2013; MEDEIROS e SILVA-JUNIOR, 2016).

A mudança de curso do Rio Jaguaribe ocorreu na década de 1920 devido à pressão imobiliária e à instalação de empreendimentos. Logo após o local de desvio, nas proximidades do Bairro de Manaíra, o Rio Jaguaribe encontra-se na situação de canalizado e bastante poluído devido ao intenso processo de urbanização e aglomerações, sem infraestrutura de saneamento adequado ao longo de suas margens (OLIVEIRA, 2001; DIEB, 2013; MEIRA 2014).

Em virtude do impacto causado pela alteração no curso natural, sofrido em meados de 1920, o Rio Jaguaribe desagua no manguezal do Rio Mandacaru e soma-se à Bacia do Rio Paraíba. Mas ao final da década de 1990, a relação do Rio Morto foi alterada em decorrência das implicações ambientais causadas pela ampliação das instalações do *Shopping Center Manaíra*, construído na margem direita do Rio Jaguaribe nas proximidades do Bairro de Manaíra. (DIEB, 2013; ROSA, 2009).

O Rio Timbó, afluente do Rio Jaguaribe, nasce entre os bairros de Jardim Cidade Universitária e Portal do Sol (sudeste da malha urbana) e percorre cerca de 5,5 Km na direção sul-norte, até encontrar com o Jaguaribe na planície litorânea da praia do Cabo Branco. No trajeto de confluência com o Rio Timbó, o Jaguaribe corre entre encostas ainda fartamente vegetadas

2.5.1 Caracterização da Bacia Hidrográfica

A Bacia do Jaguaribe está inserida no Domínio Tropical Úmido Atlântico contexto caracterizado pelo clima do tipo quente e úmido, com chuvas de outono e inverno (março a agosto) e um período seco, que se estende de setembro a fevereiro, havendo variações, com temperatura média anual entre 23°C e 28°C, com amplitude térmica de 5°C, e média pluviométrica de 1.750mm (DIEB, 2013).

Apresenta um tipo de solo em que predominam rochas sedimentares numa geomorfologia caracterizada pela presença de praias, baixos planaltos ou tabuleiros, planícies aluviais e falésias. A drenagem natural das águas pluviais entalhou nesses baixos planaltos em conjunto com a ação dos rios, e neste contexto, formaram-se as planícies aluviais ou várzeas.

² Trecho que restou do rio Jaguaribe, entre a nova foz e a primitiva. É ele que faz a divisa entre os municípios de João Pessoa e Cabedelo (DIEB, 2013).

A porção leste da bacia, planície costeira, apresenta trechos de praia, terraço, restinga, estuário e cordão litorâneo³. Os tabuleiros não superam altitude de 50 m (atingida próxima à nascente do Rio Jaguaribe) e perdem altitude quando se aproximam da referida planície, sendo finalizados por falésias mortas tendo entre 20 a 30 m de altitude (ROSA, 2009).

No que tange à vegetação, a bacia é coberta e formada por campos e matas de restinga, manguezais, mata atlântica (latifoliada perenifolia costeira) e cerrado. Os campos e matas de restinga são encontrados na planície costeira no trecho onde está localizado o Rio Morto. O manguezal está localizado na foz atual do Jaguaribe, no rio Mandacarú, e também na foz do Rio Morto. O cerrado no Altiplano Cabo Branco, percurso do Rio Timbó. A mata Atlântica com sua representação mais importante e concentrada no Jardim Botânico Benjamim Maranhão – Mata do Buraquinho, embora também se manifeste no vale do Timbó, no *campus* da Universidade Federal da Paraíba e numa gleba no bairro de Cruz das Armas, pertencente ao Exército Brasileiro. Devido à modificação na paisagem, a vegetação ciliar original não é mais encontrada. As áreas de várzea são ocupadas por lavouras de diversos tipos, pastagens, espécies frutíferas e outras arbóreas e arbustivas. As áreas inundáveis e as calhas dos rios estão ocupadas por espécies aquáticas invasoras como a *Montrichardia linifera* (aninga), *Eichornia crassipes* (baronesa), entre outras. A junção destes fatos constatados como a perda da cobertura vegetal original, ocupações em seu entorno e assoreamento, tem tornado frequente o transbordamento do Rio Jaguaribe no período chuvoso, principalmente entre junho e setembro (DIEB, 2013; BROGES, 2008).

Em termos de limites da Bacia tem-se o Oceano Atlântico ao Leste, a Bacia do Rio Marés ao Oeste, as Bacias dos Rios Mandacaru e Sanhauá ao Norte e as Bacias dos Rios Cuiá, Gramame e Cabelo ao Sul. A Bacia é dividida em alto, médio e baixo curso. O alto curso é compreendido desde a sua nascente até à Avenida Pedro II, nas imediações do Jardim Botânico Benjamim Maranhão. Deste ponto à confluência com o Rio Timbó, nas proximidades do bairro do Altiplano, é entendido por médio curso. E deste limite à sua nova foz, Rio Mandacaru, considerado o baixo curso. O curso atual do Rio Jaguaribe, considerando sua modificação, é evidenciado abaixo (MARINHO, 2011; OLIVEIRA, 2001).

Quadro 1. Bairros do Curso do Rio Jaguaribe

Cursos do Rio Jaguaribe	Bairros na Margem Esquerda	Bairros na Margem Direita
ALTO CURSO	Jardim Veneza, Distrito Industrial, Oitizeiro, Cruz das Armas,	Ernany sátiro, Costa e Silva, João Paulo II, Cristo Redentor,

³ Linha definida entre o mar e a terra que varia com as marés (SIGEP, 2022).

	Jaguaribe, Jardim Botânico Benjamim Maranhão.	Varjão, Jardim Botânico Benjamim Maranhão.
MÉDIO CURSO	Torre, Expedicionários, Tambauzinho, Miramar.	Castelo Branco, Altiplano.
BAIXO CURSO	Brisamar, São José, Bairro dos Ipês.	Tambaú, Cabo Branco, Manaíra
APÓS CONFLUÊNCIA COM RIO MANDACARU	Renascer, Intermares.	Manaíra, Aeroclube, Jardim Oceania e Bessa.
TOTAL: 19,1 km de extensão	15 bairros à Esquerda.	14 Bairros à Direita

Fonte: Adaptado, SOUZA, 2020.

O alto e o médio curso do Rio Jaguaribe estão localizados sobre tabuleiros litorâneos sedimentares, enquanto o baixo curso está sobre as planícies costeiras. No baixo curso há presença de manguezal, ratificando a influência das marés frente ao sistema fluvial da Bacia do Rio Jaguaribe. A formação do mangue ocorre na desembocadura atual do rio principal, na confluência com o Rio Mandacaru, especificamente entre os bairros São José, Manaíra e Ipês, na divisa dos municípios de João Pessoa e Cabedelo, bem como na sua antiga foz, o bairro do Bessa (MELO et al. 2001; MARINHO, 2011).

2.5.2 Histórico de Ocupação da Bacia

Analisando o histórico dos registros da hidrografia do continente americano, abordado por DIEB (2013), observa-se que o Rio Jaguaribe aparece como um rio de menor suporte. Foi suposto pela escritora que o interesse em registrar o Rio Jaguaribe em tais documentos⁴ devia-se a algum caráter estratégico, motivação política ou ainda pelos elos mantidos com os núcleos mais próximos. Embora de pequeno porte e restrita navegabilidade, o Jaguaribe figura em vários de tais documentos analisados e isso leva em consideração que na época destes registros (entre os séculos XVI e XVII) o rio dava acesso a uma região de oferta de madeiras de muito boa qualidade. A localização da foz do rio (até então diretamente no oceano Atlântico) e o percurso do rio a fim de atingi-la levantou outra suposição, uma vez que sua foz apresenta um valor estratégico, seja porque o Rio Jaguaribe cerca a cidade de João Pessoa de leste a sudeste que intermedeia o encontro do mar com o Rio Paraíba (considerado rio de grande porte que dá acesso ao núcleo inicial da cidade, onde circulavam as cargas de açúcar, madeiras e outros

⁴ Foram analisados por DIEB (2013) todos os mapas relativos à costa nordeste brasileira que constam do Acervo Digital da Biblioteca do Rio de Janeiro e outros constantes do Acervo Digital da Torre do Tombo (Portugal).

produtos ali extraídos e produzidos, bem como embarcações de grande porte). A enseada onde ocorre a foz do Jaguaribe configurava-se um acesso alternativo ao entorno da capital e embora não tenha sido reconhecida como tal pelos portugueses, logo foi pelos holandeses que a utilizaram para invadir a capitania⁵ em 1634.

No contexto da cidade, o valor e a presença do Rio Jaguaribe foram colocados desde a sua fundação, sendo sua ribeira cogitada para acolher a cidade. Apesar de no final do processo ter sido escolhido o Rio Sanhauá, o Rio Jaguaribe já fazia parte do cotidiano dos primitivos moradores das redondezas. Mesmo em decorrência de seu pequeno porte e da conformação da sua bacia as suas margens não se prestaram à cultura de cana (a grande maioria dos engenhos localizavam-se na Bacia do Rio Paraíba), o que certamente poupou do abate uma área significativa recoberta de floresta que hoje a cidade desfruta e com isto a contribuição do Rio Jaguaribe é considerada primordial no suporte de vida na cidade. Quanto ao caráter agrícola na Bacia do Jaguaribe, há relatos, segundo Dieb (2013), que até o final do século XIX a atividade ainda era parcelada em sítios e outras propriedades rurais, muitas delas originadas das doações de sesmarias, no entanto, predominou a pecuária bovina, com finalidade de produção de leite (MELO et al. 2001; DIEB, 2013).

No final dos anos de 1800, a cidade da Parahyba⁶ era cercada por sítios. Aguiar (1993) listou 28, dentre os quais três eram pertencentes à Bacia do Rio Jaguaribe, sendo o Sítio Cabo Branco, o Imbiribeira e Jaguaribe ou Jaguaricumbe. Apesar de terem sido parcelados no século XIX, muitos destes sítios alcançaram o século XX e alguns fragmento restantes perduram até a atualidade, e esses e outros sítios que cercavam a cidade fizeram dela mais vegetal que urbana, podendo ser exemplificada na Figura 3, o cartão postal da cidade da Parahyba evidenciando a Estrada dos Macacos (atual av. Dom Pedro II) que se avizinhava dos sítios Jaguaribe ou Jaguaricumbe, que nesta imagem estão à direita da estrada. Ao fundo, à esquerda, era possível avistar o Rio Jaguaribe.

⁵ A despeito dos arrecifes posicionados entre o Cabo Branco e a foz do Rio Paraíba, os holandeses desembarcaram em 1634 através da enseada onde ocorre a foz primitiva do rio Jaguaribe, invadiram a fortaleza de Santa Catarina (na foz do Paraíba) e governaram a capitania por 20 anos. Após a invasão foi reconhecida a posição estratégica que desempenhara a foz do rio Jaguaribe, e por isto chegou a ser projetado em 1709 a construção de um fortim na localidade, porém o plano não foi efetivado (AGUIAR, 1993; DIEB, 2013).

⁶ Atualmente João Pessoa.

Figura 3. Cartão postal da cidade da Parahyba, séc. XX.



Fonte: **DIEB, 2013**. Retirado do acervo particular da arquiteta Mayara Mendonça. Data provável: início do século 1901.

É possível presumir e concluir o raciocínio de que o fato da Bacia do Rio Jaguaribe ter sido ocupada por propriedades rurais no decorrer de no mínimo três séculos, inquestionavelmente, protegeu o rio do contato com o ambiente urbano, tornando-o preservado dos impactos antrópicos em maior escala, por determinado tempo. Os impactos gerados pela agropecuária desenvolvida em suas margens não ocasionaram danos significativos, de acordo com as referências consultadas ao longo do levantamento histórico da ocupação da bacia, tendo em vista a pequena escala da atividade desenvolvida. O uso das águas superficiais do Rio Jaguaribe não eram para abastecimento público da cidade, para este fim, das fontes, cacimbas e tanques era retirada a água com a finalidade de abastecimento. Este fato se deve a fatores como a proximidade existente entre as outras fontes de água e a cidade e a invisibilidade ou inacessibilidade ao Rio Jaguaribe, devido a estar inserido em propriedades particulares, nas quais o acesso ao público era vedado ou controlado. Mas de qualquer forma, a qualidade da água do rio não era comprometida e seus usos eram diversificados, independentemente de ser utilizado para consumo humano. Neste referido período o rio representava usos de banho e atividades de lazer, pescarias, passeios, contemplação da natureza e hábitos do campo na cidade (AGUIAR, 1993; MELO et al., 2001; DIEB, 2013).

O fato que modificou a história da ocupação da Bacia do Rio Jaguaribe surgiu em razão das dificuldades enfrentadas em meados do século XIX, devido à pouca evolução espacial e em qualidade infraestrutural frente ao incremento populacional então recebido (atingindo 9.000 habitantes), comprometendo assim a condição sanitária da cidade (AGUIAR, 1993).

Após a Abolição da Escravatura (1888) e a Proclamação da República (1889), os efeitos da urbanização foram acelerados, visto que a cidade da Parahyba passou a ser moradia permanente de senhores de engenho, fazendeiros e escravos libertos. Este rápido e elevado crescimento populacional da malha urbana da cidade, impulsionou a ocupação da parte leste da cidade e avançar nos arredores norte e sul. Este descompasso entre urbanização e infraestrutura determinou a insalubridade de rios na cidade. Iniciando o século XX, de forma modesta a capital começou a se infraestrutura e tratar melhor os espaços públicos no intuito de torná-la moderna e salubre, acompanhando outras intervenções sanitaristas que aconteciam no território nacional. Desta forma tornou-se prioridade o abastecimento de água na cidade e esta iniciativa e fornecer água encanada à população colocou o Rio Jaguaribe em evidência, com uma importante função de suporte à vida na cidade.

Neste interesse, os sítios Jaguaribe de baixo, Jaguaricumbe e outros sem denominação conhecida (pertencente a Felismino Lopes da Silva) foram adquiridos pela Fazenda Pública em 1907, para construção de usina de abastecimento de água encanada da capital. A mata contida nos sítios adquiridos garantia a proteção ao manancial a ser explorado. De acordo com Aguiar (1993), a usina situava-se na passagem dos rios Buraquinho e Macacos, pequenos afluentes do Jaguaribe. Ficou registrado por Curi (2004) que apenas um poço⁷, dos quatro previstos, foi perfurado e que em função do aumento da demanda de água o sistema de abastecimento foi ampliado em 1923 sob a orientação de Saturnino de Brito⁸. O primeiro sistema foi inaugurado em 1912 e nos anos seguintes o saneamento repercutiu no avanço da cidade sobre a bacia do Rio Jaguaribe, permitindo que a cidade iniciasse a ocupação do restante do planalto que até aquele momento ainda estava coberto pela mata.

Em contrapartida ao avanço do saneamento, a urbanização causou intervenções na paisagem da borda leste da cidade proporcionando nos novos espaços a afeição e a escala da modernidade. Neste interesse, parques foram criados, praças ajardinadas, tornando mais atraentes à sociedade em busca de proporcionar lazer à população. Para tornar efetivo o frequentar das praias de Tambaú foi necessário o investimento do governo estadual para torná-las mais atraentes e salubres o que acarretou sérios impactos ao Rio Jaguaribe e ao ecossistema

⁷ A responsabilidade do abastecimento da capital somente foi partilhada com outro manancial em 1948, com a construção da barragem do rio Marés. Mais adiante foi incorporada a contribuição do rio Mumbaba e em 1991 a do sistema Gramame-Mamuaba. O “Sistema Buraquinho” ainda participa do abastecimento da cidade até a atualidade (CURI, 2004).

⁸ Brasileiro, Engenheiro Sanitarista, Francisco Saturnino Rodrigues de Brito realizou alguns dos mais importantes estudos de saneamento básico e urbanismo em mais de 50 cidades do país, considerado o “pioneiro da Engenharia Sanitária e Ambiental no Brasil”.

fluvial, tendo em vista que seu baixo curso percorria praticamente toda a planície costeira. Foram implantadas então a estrada de Tambaú e uma linha de trem a vapor que abateram grandes áreas de mata nativa e trechos de manguezal, assim como a realização de aterros com a finalidade de suavizar o encontro abrupto do planalto com a planície costeira e viabilizar a conexão entre eles (AGUIAR, 1993).

Após a finalização das intervenções sanitárias, a valorização da orla como um local de veraneio para a elite tornou-se realidade e então se iniciou o processo de ocupação desta área. Essa busca por terras à beira do mar fez com que os pescadores vendessem suas casas e passassem a ocupar áreas cada vez mais próximas do Rio Jaguaribe e de outros rios da cidade. Até então a bacia mantinha-se, em sua maior parte, como área rural no entorno da cidade, produzindo gêneros agropecuários (DIEB, 2013).

No tocante às ocupações ribeirinhas associadas ao Rio Jaguaribe, é provável que não houvesse em volume considerável até a década de 1940, exceto na região do manguezal do Estuário do Rio Paraíba. Chegando os anos 1950 o Rio Jaguaribe dividia com o Rio Marés a responsabilidade pelo abastecimento da cidade e certamente foi perdendo o privilégio da proteção por este motivo. Com o crescimento da cidade nesta época, ficou suposto por Dieb (2013) que os impactos ao Rio Jaguaribe foram inevitáveis em razão do desmatamento que ocorria no planalto da margem esquerda, quanto da ocupação de áreas que não estavam minimamente infraestruturadas, principalmente as encostas instáveis do alto curso. Além disso, a desestabilização do solo, o assoreamento, a contaminação das águas servidas e esgotos, são alguns dos impactos sofridos pelo Rio Jaguaribe desde essa década.

Ao final da década de 1950 teve início incentivos ao desenvolvimento do Brasil, com transporte rodoviário e incentivo à industrialização tornando fundamental que os principais municípios, áreas produtivas e portos se conectassem à malha rodoviária federal em construção. Às margens dessa malha rodoviária, definida pela sigla “BR”, foram atraídos os distritos industriais, comércio e afins e posterior a isto foram instalados bairros residenciais populares no entorno destes polos. Teve-se então o início da expansão de diversas cidades brasileiras, incluindo João Pessoa. Nesse processo de expansão a cidade avançou sobre a Bacia do Rio Jaguaribe. Analisando o processo histórico de ocupação da Bacia do Rio Jaguaribe descrito por Dieb (2013) é possível observar momentos marcantes nesse processo.

O primeiro deles é a implantação do distrito Industrial, entre os anos de 1961 e 1966, citado por Aguiar (1993). Com isso, o contato do distrito à cidade se deu através da avenida Cruz das Armas e ao longo do tempo esta via urbana configurou-se um eixo comercial e de

serviços, estruturando a ocupação daquela parte da cidade, onde é inserido o alto curso do Rio Jaguaribe no trecho de sua nascente. Entre os anos de 1954 e 1972 a margem esquerda do Rio Jaguaribe teve a sua ocupação completada após a implantação do conjunto Cidade dos Funcionários I e após isso o surgimento dos loteamentos que deram início aos bairros do Varjão e Cristo Redentor.

O segundo momento evidenciado por Dieb (2013) foi entre as décadas 1960 e 1970, quando a expansão urbana foi para o sudeste tendo como razão a construção do *campus* da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), que ocupou as terras da fazenda São Rafael no médio curso do Rio Jaguaribe. Neste período o acesso ao *campus* era somente cruzando o Rio Jaguaribe, tanto a partir da ponte ao final da Av. Tito Silva, no Miramar, ou de outra já existente, conhecida anteriormente como estrada dos Macacos que é a atual Av. D. Pedro II, que dava continuidade à Av. João Machado. Entre o *campus* e o rio Jaguaribe foram construídos três conjuntos habitacionais, Castelo Branco I, II e III, respectivamente em 1969, 1970 e 1974 com a finalidade de atender a demanda por habitação então gerada.

Mais um momento marcante teve início em 1972, com a construção do trecho inicial da BR 230, com marco zero no município portuário de Cabedelo, localizado no extremo norte da planície costeira. Esta rodovia foi feita tomando o leito da antiga estrada de Cabedelo e transpôs o tecido urbano de João Pessoa, rompendo a continuidade da área alagável do médio curso do Rio Jaguaribe e alcançou a BR 101, no entroncamento desta com a Av. Cruz das Armas, formando um anel rodoviário de contorno à face sudeste/sudoeste da cidade e neste percurso, a BR 230 favoreceu a ocupação de dois trechos da bacia. O primeiro no alto curso do Rio Jaguaribe e o segundo nas proximidades dos bairros do Bessa, Aeroclube e Jardim Oceania, nas margens do Rio Morto. Ao final da década de 1980 todo este trecho da planície já estava loteado (DIEB, 2013).

O último momento evidenciado como marcante no tocante à ocupação da Bacia do Jaguaribe foi a ocupação dos bairros de Manaíra, Tambaú, Cabo Branco e de bairros como Altiplano Cabo Branco, Bancários, Anatólia e Jardim Cidade Universitária entre as décadas de 1970 e 1980.

Frente ao processo de ocupação do solo legal na bacia, desencadeado na década de 1960, ocorreu também o estabelecimento de inúmeros assentamentos espontâneos, que têm imprimido forte pressão sobre os rios e o ambiente fluvial como um todo. Na literatura consultada foi possível identificar a ausência de menção de investimentos em habitação de caráter social, para acomodar o contingente de migrantes não qualificado profissionalmente,

que não foi absorvido pelo mercado de trabalho e não tinha como adquirir a casa própria, pagar aluguel ou retornar aos seus locais de origem. Tendo em vista esta precariedade financeira, a alternativa resultante foi que estabelecerem abrigos em áreas periféricas àquelas já ocupadas pela cidade legal, próximos aos rios, em encostas, terrenos inundáveis ou faixas de servidão das rodovias, linhas férreas e redes de energia (MELO et al., 2001; OLIVEIRA, 2006).

A Bacia do Rio Jaguaribe proporcionou acesso à água, tem boa localização e ofertava possibilidade de cultivar ou obter a própria subsistência, e estas características favoreceram a procura das áreas da bacia para assentamentos. Mas vale esclarecer também que a integridade dos rios Jaguaribe e Timbó não foi comprometida apenas pelos assentamentos, mas também por obras realizadas que afetaram diretamente o equilíbrio do meio.

2.5.3 Atual paisagem do Rio Jaguaribe

Tomando por base o subcapítulo anterior contendo informações no tocante às modificações e impactos sofridos pela Bacia do Rio Jaguaribe, este tópico é destinado a analisar a atual paisagem do rio em destaque nesta pesquisa. Na história da paisagem fluvial urbana, escrita por muitas mãos, incluindo as da natureza, a paisagem é entendida “como um projeto em andamento”, como afirmou Corner (1999).

Apesar do conjunto considerável de impactos identificados, a paisagem do Rio Jaguaribe oferece oportunidades que poderão contribuir com a construção da valorização da própria imagem fluvial, a proteção do patrimônio ambiental e cultural nela contido e a qualificação da bacia como *habitat* urbano. Baseando-se em Dieb (2013) e tendo por foco o Rio Jaguaribe, rio principal, que protagoniza a cena da bacia e percorre áreas densamente ocupadas, estando submetido a uma carga maior de impactos negativos de diversas origens destes impactos, pode-se afirmar que inúmeros problemas foram identificados na bacia em estudo que incidem sobre ele de forma negativa e que contribuem fortemente para a degradação ambiental e paisagística da bacia.

Vale ressaltar que este tópico é baseado no levantamento da atual paisagem realizado por Dieb em 2013 (UFRJ) e utilizado em sua tese para obtenção de título de Doutora em urbanismo. Sendo assim, com a finalidade de fortalecer o reconhecimento e real dimensão dos problemas que afetam a paisagem do Rio Jaguaribe será destacado um resumo. E, com isso, incentivar soluções que trariam contribuições significativas para a paisagem e vida na bacia. Em síntese, destacam-se os seguintes problemas na Bacia do Rio Jaguaribe:

- Encaminhamento de praticamente toda a drenagem pluvial da bacia para a calha do Jaguaribe, acarretando no transporte de uma grande quantidade de contaminantes e sedimentos que comprometem a qualidade da água, o desequilíbrio ambiental das comunidades aquáticas e causam o assoreamento do rio;
- Transbordamento nos meses mais chuvosos, geralmente entre junho e julho em pelo menos 4 pontos do rio principal, causando danos materiais, riscos à vida humana e prejuízos ao cotidiano urbano. Este problema é incrementado tendo em vista o aumento da impermeabilização do solo através da pavimentação maciça sem presença de drenagem eficiente, da ocupação de novas áreas e da verticalização;
- Ineficiência ou insuficiência da rede de coleta de efluentes domésticos em certas áreas da bacia, principalmente em assentamentos ribeirinhos e em bairros do setor sul da bacia, fazendo com que chegue ao rio esses efluentes sem o devido tratamento;
- Deficiência da coleta de lixo em alguns pontos específicos da bacia, (também em assentamentos ribeirinho e bairros do setor sul da bacia) intensifica o descarte dos resíduos e rejeitos direto no ambiente, afetando a bacia e o Rio Jaguaribe;
- Ocupações em APPs (incluindo além da faixa marginal do rio, encostas íngremes de solo instáveis e manguezais) subtraindo espaços do rio, causando danos ambientais e que impedem a visualização do rio e da paisagem circundante em muitos trechos, além de impor dificuldades ao acesso ao rio;
- Fraturas na bacia devido à presença de trechos de rodovias que alteraram nas interações ecossistêmicas outrora existente entre o Rio Jaguaribe, o Sítio das Três Lagoas e o Estuário do Rio Paraíba, provocando ruptura do Jaguaribe com a sua nascente original;
- Morosidade na elaboração de planos e implementações encadeadas com caráter preventivo, corretivo e qualificador que atuem de fato na restauração do ambiente fluvial e da sua paisagem por parte do poder público. Para exemplificar este item tem-se a criação do “Parque Ecológico Jaguaribe em 2007 pela Lei Complementar Nº46/2007, situado entre as Av. Ministro José Américo de Almeida e Eptácio Pessoa tendo 9,5 ha de área e nenhuma ação efetiva de proteção e recuperação do rio como um todo até o momento da publicação da Dieb (2013).

Sendo assim, poluído, privado de condições necessárias que lhe garantiam vitalidade, de certa forma invisível, inacessível e esvaziado dos tributos que o faziam complemento da cidade e atraente à população no passado, o Rio Jaguaribe vem resistindo às pressões antrópicas.

Apesar do pequeno porte o Rio Jaguaribe se impõe no tecido urbano pela contínua mancha verde que acompanha seus trajetos, tornando tal paisagem especial, tendo em vista que muitas cidades brasileiras não mais desfrutam de rios correndo em suas calhas naturais porque foram aterrados ou canalizados (DIEB, 2013).

Os registros culturais evidenciam o seu passado rural, a relação com o mar e fatos que marcaram a história da bacia, *versus* a perversa realidade socioeconômica brasileira.

2.6 ÁREAS VERDES E O JARDIM BOTÂNICO BENJAMIM MARANHÃO

As áreas verdes e as matas ciliares além de serem uma proteção natural contra a erosão das margens e o assoreamento dos rios, possui importância na manutenção de boa qualidade da água para o uso e consumo humano e a conservação dessas áreas naturais garante a biodiversidade da região. Tendo em vista toda a importância dessas áreas, alguns fatores reduziram a vegetação no município de João Pessoa nas últimas quatro décadas, tais como a demanda por solo desnudo para implantação de equipamentos urbanos como indústrias, residências, entre outros, que geralmente são ocasionadas, em grande parte, pela especulação e déficit imobiliário (REIS, 2016; SOUZA, 2020).

De acordo com estudo de remanescentes de áreas verdes, realizado por Dantas *et al.* em 2015 (2017), na cidade de João Pessoa, os autores constataram que a área total de vegetação foi de 68,15 Km², que corresponde a 32,23% da área total do município. Vale ressaltar que essa vegetação se encontra fragmentada em 48 manchas de diferentes tamanhos, formas e níveis de susceptibilidade. Os maiores fragmentos de vegetação encontram-se ao norte no Bairro Alto do Céu, ao centro no Jardim Botânico Benjamim Maranhão – JBBM (Mata do Buraquinho), delimitada por diversos bairros (Varjão, Jaguaribe, Água Fria, Jardim São Paulo, Bancários, Castelo Branco e Torre), ao oeste nos bairros Ilha do Bispo e Cruz das Armas, ao leste nos bairros Castelo Branco, Altiplano e Bancários, ao sudeste no bairro Costa do Sol e na porção sul em Muçumagro, Gramame e Mumbaba. Os fragmentos de maior área de cobertura estão inseridos em importantes bacias hidrográficas no município, como: Bacia Hidrográfica – BH do Rio Paraíba (ao norte), BH do Rio Jaguaribe (na Mata do Buraquinho), BH do Rio Cuiá (sudeste), BH do Rio Gramame (ao sul e sudoeste).

O Jardim Botânico Benjamim Maranhão, conhecido por Mata do Buraquinho, se destaca por ser o maior fragmento remanescente de Mata Atlântica de forma circular, é situado em área urbana, sendo alvo de um intenso efeito de borda principalmente pelo fato de ser próximo de rodovias com grande porte e fluxo intenso e de edificações em seu entorno (SOUZA *et al.*, 2019). O Jardim é cortado pelo Rio Jaguaribe, o mais extenso rio urbano da capital paraibana e

que, após ter seu curso modificado, passou a ser afluente do Rio Paraíba. O Rio Jaguaribe, ao ser represado no interior do homônimo remanescente, forma o Açude Buraquinho, que ao ter necessidade de proteção por fornecer água potável para o abastecimento público, auxiliou na preservação da Mata do Buraquinho (SOUZA *et al.*, 2019).

A área onde localiza-se o Jardim Botânico (Figura 4) foi adquirida pelo Estado da Paraíba em 1907 a fim de iniciar as obras de abastecimento de água para a cidade de João Pessoa. Em 1912 p serviço de abastecimento foi inaugurado e contava com 33 poços, construídos ao longo da Mata Atlântica e bombeados por duas caldeiras a vapor. Após isto foi inaugurada a Barragem do Buraquinho, em 1940, que represou o Rio Jaguaribe com o objetivo de proporcionar melhoria na realimentação do lençol freático. Este projeto de abastecimento deu início ao processo de desmatamento e degradação da área, tanto com a abertura de avenidas e estrada quanto com a passagem de tubulação e construção de equipamentos (GADELHAINETO, 2012; LUCENA, 2002).

De acordo com Souza (2020) o governo da Paraíba adquiriu uma área de 343 ha da CAGEPA em 14 de julho de 2000, mas só em 28 de agosto de 2000, através do Decreto nº 21.264, o JBBM foi criado. Também delimitadas na Mata do Buraquinho existem a Unidade de Conservação - UC de proteção integral Refúgio de Vida Silvestre – RVS, criada em 23 de julho de 2014, através do Decreto Nº 35.195, e a sede do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e do Recursos Naturais – IBAMA. Considerado como sendo uma das maiores áreas remanescentes de Mata Atlântica em área urbana no Brasil, o JBBM é considerado importante para o controle de temperatura da cidade, bem-estar e qualidade de vida para a população em geral (BRITO; ZANZELLA, 2018).

Como definição do Jardim Botânico, em acordo com a Resolução CONAMA Nº 339/2003 (BRASIL, 2003) que dispõe sobre a criação, normatização e funcionamento dos jardins botânicos, é uma área protegida, constituída por coleções de plantas vivas cientificamente reconhecidas, organizadas, documentadas e identificadas com a finalidade de estudo, pesquisa e documentação do patrimônio florístico do país, acessível ao público, servindo à educação, à cultura, ao lazer e à conservação do meio ambiente. A função principal do JBMM é a pesquisa, a conservação de fauna e flora, a preservação e proteção de espécies econômica e ecologicamente importantes para a restauração ou reabilitação de ecossistemas, e educação ambiental a fim de proporcionar aos visitantes a percepção e a sensibilização de lazer compatível e sua utilização sustentável. Apesar do maior foco de desenvolvimento de projetos científicos seja em relação à flora, educação ambiental e ao ecoturismo, o JBBM também foi

alvo de estudo que demonstra sua importante função na melhoria da qualidade da água do Rio Jaguaribe, constatado por Cavalcanti (2013), que ligou esta melhoria na qualidade da água devida à maior cobertura de mata ciliar e presença de algumas nascentes dentro da mata (SOUZA, 2020).

Figura 4. Lago da entrada do JBBM.



Fonte: Acervo da autora, 2022.

Em 28 de agosto de 2022 o JBBM completou 22 anos. É conhecido por ser uma opção de recreação na cidade e por ser o lar de uma ampla diversidade de plantas e animais. Nesses 22 anos o jardim se mostrou como uma importante ferramenta na área de pesquisa e conservação de plantas, repassado à população através de seus programas de visitação. Por ser uma área de floresta no meio urbano, o jardim proporciona a aproximação do público com o ambiente natural, proporcionando contato direto com a natureza. São abrigadas no jardim mais de 570 espécies de plantas, como ipês, cajazeiras e embaúbas, além de uma grande diversidade de animais como tamanduá-mirim, jacarés, cobras e pássaros nativos da Mata Atlântica. As oficinas oferecidas no local variam entre trilhas, oficinas no viveiro, espaço para brincadeiras, cursos e palestras.

Em virtude da sua riqueza biológica e níveis de ameaça, a Mata Atlântica se destaca como “*hotspot*” (prioridade para conservação de biodiversidade em todo o

mundo) por possuir uma vegetação diferenciada e abrigar espécies endêmicas. Para que a área seja considerada um *hotspot* deve atender a dois critérios rigorosos. O primeiro é possuir uma alta porcentagem de vida vegetal que não é encontrada em nenhum outro lugar do planeta, ou seja, uma área insubstituível, e o segundo é ser ameaçado. Mediante isto, vale destacar que dentre os biomas brasileiros, a Mata Atlântica é o mais ameaçado e com menor área remanescente. Por apresentar altas taxas de fragmentação da paisagem natural, os efeitos de borda também tendem a ser influentes no bioma como um todo.

A Mata Atlântica brasileira se estende desde o Ceará até o Rio Grande do Sul e é de grande importância para o país, pois abriga mais de 60% da população brasileira e é responsável por quase 70% do Produto Interno Bruto – PIB nacional. A devastação desse bioma é reflexo da ocupação territorial e da exploração desordenada dos recursos naturais. Tendo em vista a importância em conservação deste bioma, a conservação e recuperação desse *hotspot* constituem um grande desafio, tendo em vista que as estratégias, ações e intervenções necessárias esbarram em dificuldades impostas pelo estado fragmentado do conhecimento sobre o funcionamento dos seus ecossistemas, num ambiente sob forte pressão antrópica, marcado pela complexidade nas relações sociais e econômicas (PINTO *et al.*, 2006).

2.7 BIOTRATAMENTO COMO ALTERNATIVA PARA RECUPERAÇÃO DE RIOS

Como método natural de descontaminação, a autodepuração em total funcionamento consegue degradar os poluentes recebidos ao longo de seu leito, se não extrapolar sua capacidade suporte. Durante o processo de autodepuração, o contaminante biodegradável é assimilado por microrganismos que o mineralizam. Este processo apresenta as etapas de decomposição da matéria orgânica e posterior o restabelecimento do oxigênio dissolvido ou reaeração. Assim, ao longo do corpo hídrico, este procedimento natural apresenta 4 zonas, sendo elas: Zona de Decomposição ou de Degradação, Zona de Decomposição Ativa ou Séptica, Zona de Recuperação e Zona Não Poluídas ou de Águas Limpas (BRAGA, 2005; VON SPERLING, 2007).

A Zona de Degradação se inicia a poucos metros dos depósitos de poluentes, acarretando na diminuição do oxigênio (reduzindo a ação de bactérias aeróbias) e a decomposição de matéria-prima impactante. Nesta zona a condição anaeróbica faz com que ocorra a produção dos gases sulfídrico e metano, que causam odor no ambiente. Na Zona de Decomposição Ativa o ecossistema começa a se estabelecer com a predominância de microrganismos

decompositores apresentando como consequências, além do odor, a deterioração da qualidade da água, mudança na coloração, diminuição na densidade de bactérias e aumento no número de protozoários. Na Zona de Recuperação, a água volta a ficar mais clara e com menos lodo, além de propiciar o desenvolvimento de algas e diversificação da cadeia trófica, tendo assim introdução de oxigênio dissolvido disponível no meio. E por última zona, a de Águas Limpas, onde tem-se o retorno das condições naturais ao rio, com o aumento da biodiversidade de espécies. Porém, esta zona só se mantém se a poluição for pontual e caso não haja introdução reincidente de poluentes (VON SPERLING, 2007) ao longo do rio, neste último caso o rio só apresentará as zonas de Degradação e de Decomposição Ativa.

Nesse contexto, é importante conhecer o corpo hidrológico e analisar como se comporta a autodepuração do ambiente aquático, incluindo os rios urbanos, como requisito para a implantação de novos empreendimentos com potencial poluidor, conforme as diretrizes das resoluções CONAMA vigentes, tendo em vista que os efluentes não poderão conferir ao corpo receptor características de qualidade em desacordo com os limites estabelecidos em seu enquadramento. Tendo então que haver estudos de autodepuração que comprovem que o lançamento do efluente devidamente tratado não afetará significativamente a vida no local de despejo, ou posteriores (SOUZA, 2020).

Apesar dos corpos hídricos apresentarem a opção natural de depuração, o constante lançamento de efluentes de forma irregular compromete a sua capacidade natural, elevando os valores de nutrientes e material orgânico que não é decomposto, diminuindo o oxigênio dissolvido no meio e por conseguinte também a biodiversidade, causando a eutrofização. Devido a essas ações antropogênicas o biotratamento surge como a necessidade de revitalizar corpos hídricos, com o objetivo de elevar a qualidade da água e devolver serviços ecossistêmicos perdidos mediante degradação do ambiente (SOUZA, 2020).

A remoção de poluentes e nutrientes, presentes em ambientes terrestres e aquáticos alterados ou degradados por ações humanas, exigem técnicas sofisticadas, com altas demandas energéticas e uso de processos físicos e químicos complexos, além de resultarem em mais resíduos passíveis de tratamentos específicos. Estudo que permitiu compreender melhor a dinâmica da interação entre organismos interespecíficos, ciclagem de nutrientes e ações identificadas como despoluidoras por microrganismos e plantas, proporcionaram o advento de inúmeras estratégias e métodos capazes de contribuir significativamente, com a descontaminação ambiental (SOUZA, 2020).

Seguindo este raciocínio, é importante avaliar a aplicação de tratamentos biológicos que gerem menor impacto negativo ao ambiente durante o processo de tratamento, ou seja, avaliar a implementação de tecnologias que permitam a recuperação ou remediação de ambientes contaminados envolvendo espécies vivas para atingir os objetivos da remediação. A biorremediação emerge como uma técnica eficiente, economicamente viável, para contribuir com o tratamento de ambientes aquáticos lóticos⁹ eutrofizados ou contaminado por efluentes domésticos, pois tal técnica estimula organismos como fungos, algas, bactérias, a degradar poluentes orgânicos dispostos no ambiente. A tecnologia da biorremediação é por vezes menos onerosa que métodos convencionais de tratamento, sendo considerada atualmente como uma alternativa de baixo custo e com potencial elevado na remediação de locais poluídos (FREITAS, 2005; CRISPIM et al., 2009; FULEKAR e GEETHA, 2009; SOUZA, 2020).

2.8 BIOFILME E PERIFÍTON

O termo apresentado por biofilme, neste trabalho, descreve a forma de vida microbiana sésil, caracterizada pela adesão destes a um substrato e havendo, a partir disto, a produção de substâncias poliméricas extracelulares (*Extracellular Polymeric Substances – EPS*) de modo a construir uma parede gelatinosa que prende e protege as células microbianas. A formação de tal biofilme provoca alterações fenotípicas das células planctônicas, sendo descritas como estratégias de manutenção dos microrganismos em ambientes com condições adversas (COSTERTON et al., 1999; OLIVEIRA et al., 2010). A teoria da existência do biofilme foi promulgada por Costerton et al. (1978) através de técnicas de microscopia, chegando na constatação de que a maioria dos microrganismos, em ambientes naturais, se encontram fixos a substratos e não de forma dispersa em suspensão.

O perifíton é outra denominação e é representado por uma fina camada (biofilme) variando em alguns milímetros, que atua na interface entre o substrato e a água circundante. São observados como manchas verdes ou pardas aderidos a objetos submersos na água como rochas, troncos, objetos artificiais (inertes) e a vegetação aquática. De maneira a padronizar a terminologia, no 10º "Workshop" Internacional sobre comunidades aderidas presentes nos ecossistemas aquáticos, o termo perifíton foi consagrado e definido como uma complexa comunidade de microrganismos (algas, bactérias, fungos e animais), detritos orgânicos e inorgânicos aderidos a substratos inorgânicos ou orgânicos vivos ou mortos (WETZEL, 1983). Como os dois termos são utilizados, e atualmente há maior tendência de uso do termo biofilme,

⁹ Ambiente relativo a águas continentais moventes (BRASIL, 2005).

por ser mais amplo, enquanto *Fiton* está associado a algas, utilizaremos nesta pesquisa o nome biofilme.

O biofilme apresenta fatores que limitam o seu crescimento, podendo ser citados o fluxoda água, pois a velocidade e a ação da correnteza que afetam o crescimento e a produção do biofilme, podendo ser benéfico ou inibidor, a depender da força e direção do movimento da água, que renova continuamente os materiais essenciais e produtos metabólicos. Além disto, há uma zona de camada limite entre a água e o Perifíton, sendo chamada também como camada circundante, e dependendo do fluxo da água esta zona diminui, aumentando a difusão de gases, íons e nutrientes, facilitando a fotossíntese ativa e a respiração, justificando a maior produção do biofilme nos ecossistemas aquáticos lóticos comparados aos lênticos (PÉRES e RESTREPO, 2008; FELISBERTO e MURAKAMI, 2013).

A composição química do biofilme contempla todos os componentes da comunidade, incluindo os detritos orgânicos e inorgânicos sendo muitas vezes agregado como indicador da disponibilidade de fósforo e nitrogênio, auxiliando consideravelmente no fluxo energético e ciclagem de materiais, sendo o biofilme um importante sequestrador de carbono e de fósforo e nitrogênio. As algas e bactérias que fazem parte do biofilme são uma das principais fontes de alimento para os organismos invertebrados e vertebrados, principalmente os peixes, facilitando no aumento da biodiversidade e melhorando a qualidade da água (DODDS, 2003; SCHWARZBOLD, BURLIGA e TORGAN, 2013).

O biofilme atua como um depósito temporário de nutrientes, ajudando na redução da concentração de compostos causadores da eutrofização, podendo ser aplicado no tratamento de águas, pois a sua composição taxonômica possibilita inferir diagnósticos ambientais e entender os diferentes processos ecológicos dos sistemas aquáticos, sendo possível identificar mudanças com respeito às variáveis físicas e químicas, principalmente nos parâmetros como nitrogênio, fósforo, oxigênio dissolvido e sais dissolvidos (SOUZA, 2020). Devido ao assoreamento, os rios perderam parte desta comunidade tão importante, por deixarem de ter um substrato com cascalho e seixos rolados.

2.9 SUBSTRATOS PARA O BIOTRATAMENTO

Por apresentar qualidade degradada e estrutura nos rios quase que totalmente modificadas devido a ações antrópicas, para auxiliar na depuração do rio e para o desenvolvimento do biofilme podem ser utilizados diversos tipos de substratos artificiais como materiais de PVC, cortinas de polietileno, fibra de vidro, acrílico, entre outros (FREITAS, 2005;

BENTO, 2005; CRISPIM et al., 2009; MILSTEIN, PERETZ e HARPAZ, 2010; REBOUÇAS et al., 2012; SOUSA, 2015).

Os substratos artificiais são utilizados como opção para instalação e permanência do biofilme, e para isso é levado em consideração no tipo de substrato o grau de rugosidade da superfície, a posição do substrato para a comunidade do biofilme em lagoa de estabilização, contribuindo para a melhoria do efluente em relação ao DBO, sólidos em suspensão e na turbidez (MARTINS e MOSCHINI, 2003; BENTO, 2005).

O crescimento do biofilme em substratos com diferentes texturas foi testado por Milstein, Peretz e Harpaz (2010), utilizando materiais naturais como folhas de palmeiras e materiais artificiais como redes agrícolas, superfícies plásticas, para melhorar a produção do biofilme para servir de alimento em culturas de tilápia, resultando no material artificial de superfícies plásticas melhores alternativas para servir de substrato para o biofilme. As pesquisas com o biofilme apontam o seu potencial como biorremediador e eficiência na remoção natural de ferro – Fe e chumbo – Pb no tratamento da água, além da remoção de nutrientes fosfatados e nitrogenados, tornando o tratamento capaz de fornecer a solução para problemas de eutrofização e poluição da água (CRISPIM et al. 2009; Wu et al. 2013; SOUZA, 2020).

Além de evidenciar o biofilme como biorredutores na coluna de água e no sedimento de ambientes eutrofizado e remoção, absorção e transformação biológica do fósforo solúvel disponível, ficou constatado que o biofilme pode controlar também altas taxas de cianobactérias que são tóxicas e causam graves problemas para o ecossistema aquático e saúde humana (WU et al., 2010)

Ficou constatado por Crispim et al. (2009) que os sistemas biorremediadores foram mais eficientes que o sistema com macrófitas na remoção de nutrientes, desempenhando a função com maior eficácia, principalmente na remoção de fósforo em água de açude eutrofizado. Sousa (2015) também testou macrófitas e perifíton como biorremediadores e Pérez (2015) somente o perifíton em efluentes da lagoa facultativa de ETE em João Pessoa, e verificaram a eficiência no melhoramento da qualidade do efluente com o tratamento por biofilme, sendo este mais eficaz na redução de nitrogênio, enquanto que as macrófitas retiraram mais compostos fosfatados. Ficou constatado que o biofilme tem capacidade de elevar a qualidade da água de ambientes eutrofizado e de efluentes, registrando também melhora nos valores de transparência, oxigênio dissolvido e nas espécies indicadoras de qualidade do zooplâncton (CRISPIM et al., 2009; PÉREZ, 2015).

Souza (2020), Marinho (2018) e Crispim et al. (2019) apontaram a eficiência do tratamento com biofilme biorremediador em ambientes lênticos, lóticos (inclusive nos rios urbanos de João Pessoa como o Rio do Cabelo e o Rio Jaguaribe) e em efluentes após tratamento. Porém os trabalhos encontrados evidenciando o biotratamento carecem de avaliação de certos parâmetros que são referência para constatar a melhoria na qualidade da água, como parâmetros de DBO, Demanda Química de Oxigênio – DQO e de Coliformes Termotolerantes, indicadores principais de qualidade de água, citados em diversas legislações vigentes de controle de qualidade.

2.10 INSTRUMENTOS NORMATIVOS À QUALIDADE DA ÁGUA

Existe um conjunto de princípios e normas que regulamentam o uso, domínio, conservação e preservação das águas denominado direito das águas. Contudo, nem sempre os recursos hídricos tiveram tratamento constitucional, apenas na Constituição de 1934 (com o Decreto 24.643 que aprovou o Código das Águas) que ficou destinada o domínio das águas a este ente federativo, por se tratar dos bens da união. Mas apenas a Constituição Federal de 1988 (CF/88) que apresenta regras expressas acerca do domínio das águas, em seus artigos 20, no inciso III, e no 26, inciso I (DIAS, 2021).

Art. 20. São bens da União: III - os lagos, rios e quaisquer correntes de água em terrenos de seu domínio, ou que banhem mais de um Estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham, bem como os terrenos marginais e as praias fluviais;

Art. 26. Incluem-se entre os bens dos Estados: I - as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, ressalvadas, neste caso, na forma da lei, as decorrentes de obras da União.

A partir da Constituição de 1988 ficou determinado que para a União a competência legislativa acerca do tema é deixada para os Estados e Distrito Federal, de forma concorrente com aquela, legislarem sobre a proteção do meio ambiente e controle da poluição, o que inclui a proteção às águas.

Art. 23. É competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios: VI - proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer de suas formas; VII - preservar as florestas, a fauna e a flora;

Art. 225. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

Apenas em 1997, a partir da Lei Federal Nº 9.433, conhecida como Lei da Águas, que foi implantado um sistema de gerenciamento das águas no País, um instrumento importante que marcou a luta pela qualidade de água. Foi instituída a partir da Lei a Política Nacional de

Recursos Hídricos – PNRH e criado o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

A PNRH, instituída na Lei N°9.433/97, consolida o avanço na valoração e valorização da água, através de fundamentos como:

- A água é um bem de domínio público;
- A gestão dos recursos hídricos deve sempre priorizar o uso múltiplo das águas;
- A bacia hidrográfica passa a ser a unidade de gestão dos recursos hídricos;
- Gestão descentralizada e contar com participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

Para efetivar esses novos fundamentos, a Política Nacional apresenta alguns instrumentos essenciais à gestão, sendo eles:

- I – Plano de Recursos Hídricos;
- II – Enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água;
- III – Outorga dos direitos de uso dos recursos hídricos;
- IV – Cobrança pelo uso dos recursos hídricos;
- V – Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos

Sendo assim, a PNRH visa assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade hídrica em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos. Para a implantação do sistema nacional de recursos hídricos, foi criada a Agência Nacional de Águas – ANA em julho de 2000 (atual Agência Nacional de águas e Saneamento Básico). A ANA possui participação na execução da PNRH, apoiando os Conselhos Nacional e Estaduais de Recursos Hídricos, bem como os respectivos Comitês de Bacia Hidrográfica – CBH e suas Agências de Bacia.

Desta forma, existe um conjunto de legislações específicas no que diz respeito aos usos da água e sua proteção em cada situação. Neste trabalho serão abordadas com maior ênfase legislações para o enquadramento dos corpos hídricos e para classificação de balneabilidade.

A boa gestão da água passa por um monitoramento da água que permite acompanhar as condições de uso e os padrões de qualidade da mesma. Assim, serão utilizadas Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA de números 274/00 e 357/05 (complementada por outras resoluções apresentadas no tópico 2.3), que

define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras e sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, respectivamente.

A balneabilidade das águas, CONAMA 274/00, é entendida como a qualidade das águas destinadas à recreação de contato primário, entendido como contato direto e prolongado com a água, como atividades de natação, mergulho, esqui-aquático, surfe, entre outros. Através de análises bacteriológicas de Coliformes Termotolerantes, *Escherichia coli* ou Enterococos é possível classificar as águas destinadas ao contato primário, sendo esta classificação dividida em quatro: Excelente; Muito Boa; Satisfatória; Imprópria. O Art. 2, parágrafo 1º nas alíneas a, b, c e parágrafos 2º, 3º e 4º. Para as subdivisões na classificação de “própria” para balneabilidade, tem-se no parágrafo 1º:

§ 1o As águas consideradas próprias poderão ser subdivididas nas seguintes categorias:

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

Para classificação “imprópria”, tem-se no parágrafo 4º:

§ 4o As águas serão consideradas impróprias quando no trecho avaliado, for verificada uma das seguintes ocorrências: a) não atendimento aos critérios estabelecidos para as águas próprias; b) valor obtido na última amostragem for superior a 2500 coliformes fecais (termotolerantes) ou 2000 *Escherichia coli* ou 400 enterococos por 100 mililitros; c) incidência elevada ou anormal, na Região, de enfermidades transmissíveis por via hídrica, indicada pelas autoridades sanitárias; d) presença de resíduos ou despejos, sólidos ou líquidos, inclusive esgotos sanitários, óleos, graxas e outras substâncias, capazes de oferecer riscos à saúde ou tornar desagradável a recreação; e) pH < 6,0 ou pH > 9,0 (águas doces), à exceção das condições naturais; f) floração de algas ou outros organismos, até que se comprove que não oferecem riscos à saúde humana; g) outros fatores que contra-indiquem, temporária ou permanentemente, o exercício da recreação de contato primário.

Em contrapartida, o enquadramento dos corpos hídricos, CONAMA 357/05, está baseado nos níveis de qualidade que os corpos hídricos deveriam possuir para atender às necessidades da comunidade, tendo em vista a saúde, bem-estar humano e o equilíbrio ecológico aquático não devem ser afetados pela deterioração da qualidade das águas. Por isso, visando atingir gradativamente os parâmetros de qualidade, existem instrumentos

para avaliar a evolução da qualidade das águas, em relação às classes estabelecidas no enquadramento.

Através das definições disponíveis na referida Resolução CONAMA, o Rio Jaguaribe no trecho alvo do presente estudo está classificado como água doce por apresentar salinidade igual ou inferior a 0,5 ‰, por isso, a partir do texto disponível no Art. 4 desta Resolução, tem-se:

Art. 4º As águas doces são classificadas em:

I - classe especial: águas destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção;
- b) à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e
- c) à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.

II - classe 1: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000;
- d) à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e;
- e) à proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.

III - classe 2: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000;
- d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto;
- e) à aquicultura e à atividade de pesca.

IV - classe 3: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado;
- b) à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;
- c) à pesca amadora;
- d) à recreação de contato secundário;
- e) à dessedentação de animais.

V - classe 4: águas que podem ser destinadas:

- a) à navegação; e
- b) à harmonia paisagística.

Em nível estadual, o Sistema Estadual de Licenciamento de Atividades Poluidoras – SELAP na Diretriz – DZS Nº 205 dispõe da classificação das águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, classificando o “Rio Jaguaribe e afluentes, da nascente até a barragem do açude Buraquinho como Classe 2, e da barragem do Buraquinho (BR 230) até a formação do Rio Mandacarú como Classe 3 (SUDEMA, 1988).

A fim de analisar as características naturais, identificar fontes de poluição ou níveis de contaminações, são determinados diversos parâmetros que representam os aspectos, físicos, químicos e biológicos da água. Por isto se destacam parâmetros que

descrevem as características condicionadas pelos componentes que estão presentes na água (RIBEIRO, 2010; SPERLING, 2005).

REFERÊNCIAS

- ALVES, T.M.S.; SILVA, C.A.; SILVA, N.B.; MEDEIROS, E.B.; VALENÇA, A.M.G.. **Atividade Antimicrobiana de Produtos Fluoretados sobre Bactérias Formadoras do Biofilme Dentário**: Estudo in vitro Pesquisa Brasileira em Odontopediatria e Clínica Integrada, 10(2): 209-216, 2010.
- ANA. **Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas** / Agência Nacional de Águas, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília, DF, 88 p. 2017. **Mapa Interativo**. (2017). Disponível em <https://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/ATLASESGOTOSDespoluicaoodeBaATLASESGOTOSDesp-ResumoExecutivo_livro.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2022.
- AGUIAR, W. H. V. **Cidade de João Pessoa: A Memória do Tempo**. João Pessoa: GRAFSET, 1993, 2 ed.
- ARAÚJO, G. H. S.; ALMEIDA, J. R.; GUERRA, A. J. T. **Gestão ambiental de áreas degradadas**. Rio de Janeiro: Bertreand Brasil, 2005. p. 17-112. AZEVEDO NETO, J.M. **Novos conceitos sobre eutrofização**. Revista DAE, 48(151): 22–28, 1988. BARROS, M. C. V. Mapeamento de uso e ocupação do solo da zona costeira Sul do estado da Paraíba. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 5, p. 31875-31886, 2020. DOI 10.34117/bjdv6n5-585. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/10768>. Acesso em: 7 ago. 2022. BARROS, M. C. V. et al. MAPEAMENTO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA ZONA COSTEIRA SUL DO ESTADO DA PARAÍBA. In: XVI ENEEAMB & LV FLAES, 2018, Palmas. **Anais eletrônicos**. Campinas, Galoá, 2018. Disponível em: <<https://proceedings.science/eneeamb-2018/trabalhos/mapeamento-do-uso-e-ocupacao-do-solo-da-zona-costeira-sul-do-estado-da-paraiba>> Acesso em: 30 jul. 2022. BATTIN, T.J.; KAPLAN, L.A.; NEWBOLD, J.D.; HANSEN, C.M.E. **Contributions of microbial biofilms to ecosystem processes in stream mesocosms**. Nature, 426, 439e442. 2003.
- BENTO, A. P. **Tratamento de esgoto doméstico em lagoas de estabilização com suportes para o desenvolvimento de perifíton- biofilme**. Tese. Universidade Federal de Santa Catarina. 197p., 2005.
- BIOLO, E; RODRIGUES, L. **Composição de algas perifíticas (exceto Bacillariophyceae) em distintos substratos naturais de um ambiente semilótico, planície de inundação do Alto Rio Paraná, Brasil**. Brazilian Journal of Botany, 34(3): 307-319, 2011.
- BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; MIERZWA, J. C.; BARROS, M. T. L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à engenharia ambiental**. São Paulo: Prentice Hall, 2005.
- BRASIL. **Lei Federal nº 4.771**, de 15 de setembro de 1965. Institui o Código Florestal. Disponível em: < https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/14771.htm > . Acesso em: 06 de ago de 2022.
- BRASIL. **Lei Federal nº 6.535**, de 15 de junho de 1978. Institui o novo Código Florestal. Disponível em: < https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6535.htm#:~:text=LEI%20N%C2%BA%206.535 >

%2C%20DE%2015%20DE%20JUNHO%20DE%201978.&text=Acrescenta%20dispositivo%20ao%20art.,Art%20.> . Acesso em: 06 de ago de2022.

BRASIL. **Lei Federal nº 7.803**, de 18 de julho de 1989. Altera a redação da Lei nº 4.771/1965 e revoga as Leis nºs 6.535/1978 e 7.511/86. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L7803.htm>. Acesso em: 06 de ago de2022.

BRASIL. **Lei Federal nº 12.651**, de 25 de maio de 2012. Altera a redação da Lei nº 4.771/1965 e revoga as Leis nºs 6.535/1978 e 7.511/86. Estabelece Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L7803.htm>. Acesso em: 06 de ago de2022. BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. Brasília DF, 16 jul. 2020. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/web/dou/-/lei-n-14.026-de-15-de-julho-de-2020-267035421>>. Acesso em: 14 de julho de 2022

BRASIL. **Resolução CONAMA nº. 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº. 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Brasília. Publicada no D.O.U. nº 92, de 16 de maio de 2011. 2011a.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 1, de 23 de janeiro de 1986**. Dispõe sobre as definições, as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para o uso e implementação de Avaliação do Impacto Ambiental como um dos instrumentos da Política nacional do Meio Ambiente. Brasília DOU – Diário Oficial da União. Publicada no D. O. U. em 17 de fevereiro de 1986. 1986

BRASIL. **Portaria do Ministério da Saúde nº. 2.914 de 12 de dezembro de 2011**. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília. Publicada no D.O.U. nº 239, de 14 de dezembro de 2011. 2011b.

BRITO, E.F.A.; VANZELLA, E.. **Jardim Botânico Benjamim Maranhão**: contribuições para a cidade de João Pessoa. Revista Mangaio Acadêmico, 2(2): 07-14, 2018.

CANEPA, C. **Cidades Sustentáveis**. O município como locus da sustentabilidade. Editora RCS. São Paulo, 2007. 293 p.

CAVALCANTI, R.G. **Influência da Mata do Buraquinho sobre a qualidade da água do rio Jaguaribe**. Monografia (TCC) apresentada ao Curso de Ciências Biológicas da Universidade Federal da Paraíba, 55f, 2013.

CHAOUA, S. et al. **Efficiency of two sewage treatment systems (activated sludge and natural lagoons) for helminth egg removal in Morocco**. Journal of infection and public health, v. 11, n. 2, p. 197-202, 2018.

CHERNICHARO, C. A. et al. **Anaerobic sewage treatment in Latin America** . In:

Anaerobic Biotechnology: Environmental Protection and Resource Recovery. p. 263-296, 2015.

CLEMENTS, W. H. **Integrating effects of contaminants across levels of biological organization.** *Journal of Ecosystem Stress and Recovery* 7:113-116. 2000.

CNI - Confederação Nacional da Indústria. **Burocracia e Entraves ao Setor de**

Saneamento . (2016). Disponível em: <<https://tratabrasil.org.br/uploads/2015-12-08-Burocracia-e-Entraves-saneamento-Final.pdf>>. Acesso em: 25 jun.2022.

CORNER, J. (Ed.) **Recovering landscape:** essays in contemporary landscape architecture. New York: Princeton Architectural Press, 1999.

COSTANZA, R. et al. **The value of the world's ecosystem services and natural capital.** *Nature*, v. 387, p. 253-60, maio 1997. DOI: <https://doi.org/10.1038/387253a0>

COSTERTON, J.W.; GEESEY, G.G.; CHENG, K.-J.. **How Bacteria Stick.** *Scientific American*, 238(1): 86–95, 1978.

COSTERTON, J.W.; STEWART, P.S.; GREENBERG, E.P.. **Bacterial biofilms:** a common cause of persistent infections. *Science*. 284 (5418): 1318-22, 1999.

CRISPIM, M. C.; VIEIRA, A. C. B.; COELHO, S. F. M; MEDEIROS, A. M. A. **Nutrient uptake efficiency by macrophyte and biofilm: practical strategies for small-scale fish farming.** *Acta Limnol. Brasil*, 21(4): 387-391, 2009. CRUZ, R.A.; CIZONE, M.C.A.; MEDEIROS, V.K.; OLIVEIRA, P.S. **Feridas complexas e o biofilme:** atualização de saberes e práticas para enfermagem. *Revista Rede de Cuidados em Saúde*, 10(3): 1 – 11, 2016.

CURI, W. F. **Análise sobre intervenções hidráulicas na bacia do rio Gramame - Pb para ampliação da disponibilidade hídrica superficial no contexto de aspectos qualitativos de múltiplos usos e objetivos.** 2004.

DANTAS. M.S.; ALMEIDA, N.V.; MEDEIROS, I.S.; SILVA, M. D.. **Diagnóstico da vegetação remanescente de Mata Atlântica e ecossistemas associados em espaços urbanos.** *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 2(1): 87-97, 2017.

DEAN, W. **A ferro e fogo:** a história e a devastação da Mata Atlântica brasileira. São Paulo: Companhia das Letras, 1996.

DIAS, T. A. **AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO TRECHO DO RIO PIANCÓ NA BACIA HIDROGRÁFICA PIANCÓ-PIRANHAS AÇU.** Orientador: Dra Andrea Lopes de Oliveira Ferreira. 2021. Dissertação (Mestre e, Engenharia Química) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB, 2021.

DIEB, M. A. **Cerzindo Rios e Cidades.** 2013. 289f. Tese (Doutorado em Urbanismo) Programa de Pós-Graduação em Urbanismo, Universidade federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2013.

DODDS, W. K. **The Role of Periphyton in Phosphorus Retention in Shallow Freshwater Aquatic Systems.** *J. Phycol.* 39: 840–849, 2003.

ESTEVEES, F.A.; FURTADO, A.L. S. Oxigênio Dissolvido. 167 – 191pp. In: **Fundamentos de Limnologia**. 3ª edição. Interciência, Rio de Janeiro, RJ. 790p., 2011.

FELISBERTO, S.A.; MURAKAMI, E.A. **Papel do perifíton na ciclagem de nutrientes e na teia trófica**. In: SCHWARZBOLD, A.; BURLIGA, A.L.; TORGAN, L.C. (org.). *Ecologia do Perifíton – 1ed – São Carlos: RiMa, 2013.*

FERREIRA, P. S. F. et al. Avaliação preliminar dos efeitos da ineficiência dos serviços de saneamento na saúde pública brasileira. **Revista Internacional de Ciências**, v. 6, n. 2, p. 214-229, 2016.

FONSECA, A. F. C.; PRADO FILHO, J. F. Um importante episódio na história da gestão dos recursos hídricos no Brasil: O controle da Coroa Portuguesa sobre o uso das águas nas minas de ouro coloniais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, vol.11, n.3,jul/set 2006, p. 5-14. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/8346>>. Acesso em: 06 de ago. de 2022.

FRANCHINI NETO, H. A política externa independente em ação: a Conferência de Punta del Este de 1962. **Revista Brasileira de Política Internacional**, v. 48, n. 2, 2005.

FULEKAR, M. H. GEETHA, M. S. J. **Bioremediation of Trichloropyr Butoxyethyl Ester (TBEE) in bioreactor using adapted Pseudomonas aeruginosa in scale up process technique**. *Biol, Med.*, 1(3): 1-6, 2009.

GADELHA NETO. **Noções Gerais Sobre Jardins Botânicos**. 2ed. João Pessoa: Jardim Botânico Benjamim Maranhão, 2012.

GAMA, R. S. Aspectos da Política Nacional de Saneamento diante da transição democrática da sociedade e do Estado brasileiro. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 22, p. 141-152, 2010.

GOVERNO DA PARAÍBA (PB). CAGEPA. **Informações do Esgotamento Sanitário**. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://www.cagepa.pb.gov.br/outras-informacoes/esgotamento-sanitario/tratamento/>. Acesso em: 15 jul. 2022.

HARRISON, J.J.; TURNER, R.J.; MARQUES; L.L.R.; CERI, H.. **Biofilms: A new understanding of these microbial communities is driving a revolution that may transform the science of microbiology**. *American Scientist*, 93:508-515, 2005.

HOLZ, I.H.. **Águas urbanas: da degradação à renaturalização**. Anais do VI Encontro Nacional e IV Encontro Latino-Americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis – Vitória – ES, 2011.

JESUS, V. **Coisas Negras no Quarto de Despejo: Saneando subjetividades, corpos e espaços**. 2017. 146 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional). Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2017.

LIBORIUSSEN, L. **Production, regulation and ecophysiology of periphyton in shallowfreshwater lakes**. PhD thesis. National Environmental Research Institute. 2003.

- LUCENA, E. R. **Jardim Botânico Benjamim Maranhão**. João Pessoa: SUDEMA, 2002.
- MARINHO, E. G. A. **Bases geológicas e geomorfológicas das organizações espaciais no município de João Pessoa (PB)**. 318f. Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências. Universidade Federal de Pernambuco, 2011.
- MARTINS, P.M.L. MOSCHINI, C.V. **Macrófitas aquáticas e perifíton**. Aspectos ecológicos e metodológicos. Editora RIMA, pp 63. 2003.
- MARTINS, M. L. R. **Moradia e mananciais: tensão e diálogo na metrópole**. São Paulo: FAUUSP/FAPESP, 2006.
- MEDEIROS, M. C. S.; SILVA-JÚNIOR, J. B. **Estudo De Caso Da Expansão Do Shopping Manaíra E Comunidade São José Sobre O Rio Jaguaribe Em João Pessoa-PB**. Polemica - Revista Eletrônica da UERJ, 16(2): 71–89, 2016.
- MEIRA, M. S. R. **Avaliação hidromorfológica e paisagística do baixo rio Jaguaribe na zona costeira do estado da Paraíba**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba, 114f., 2014.
- MELLO, S. S. **Na beira do rio tem uma cidade: Urbanidade e valorização dos corpos d'água**. 2008. Tese de Doutorado (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo/Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2008.
- MELLO, Sérgio Costa de. **Uso de macrófitas aquáticas fitorremediadoras como incremento ao tratamento de esgoto e o potencial de sua biomassa na produção de biogás**. Orientador: Profª. Drª. Maria Cristina Basílio Crispim da Silva. 2018. 114 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB, 2018.
- MENDONÇA, L. C.; MENDONÇA, S. R. **Sistemas sustentáveis de esgotos: orientações técnicas para projeto e dimensionamento de redes coletoras, emissários, canais, estações elevatórias, tratamento e reuso na agricultura**. Editora Blucher, 2018.
- MELO, S. T.; HECKENDORFF, W. D.; ALVES, E. L.; GUIMARÃES, M. M. M. O Meio Ambiente Natural: componentes abióticos e bióticos. In **Projeto de pesquisa: Vale do Rio Jaguaribe**. João Pessoa: UNIPÊ Editora, 31-94p., 2001. MILSTEIN, A.; PERETZ, Y.; HARPAZ, S. **Comparison of Periphyton Grown on Different Substrates as Food for Organic Tilapia Culture**. The Israeli Journal of Aquaculture – Bamidgeh, 60(4): 243–252, 2010.
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT [MEA]. **Ecosystems and human well-being: biodiversity synthesis**. Washington, DC: World Resources Institute, Island Press, 2005.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Biomass Brasileiros: Mata Atlântica**. 2009.
- Disponível em:
<<http://www.mma.gov.br/sitio/index.php?ido=conteudo.monta&iEstrutura=72&idMenu=3646>>. Acesso em: 06 de ago de 2022.

OLIVEIRA, F. B. **Degradação do Meio Físico e Implicações Ambientais na Bacia do Jaguaribe**. 93p. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Centro de Tecnologia e Geociências. Universidade Federal de Pernambuco – Recife – PE. 2001.

OLIVEIRA JÚNIOR, L. H. R. **Uso do filtro de areia na adequação do efluente da ETE mangabeira para ultrafiltração**. Trabalho de Conclusão de Curso - Curso de Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba - UFPB, 57 p. João Pessoa: 2017

OLIVEIRA, J. L. A. de. **Uma Contribuição aos Estudos Sobre a Relação Transportes e Crescimento Urbano: O Caso de João Pessoa - PB**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana). CT/ PPGEU/ UFPB, João Pessoa, 2006.

OLIVEIRA, M. S. R. **Estudo da comunidade fitoplanctônica da lagoa facultativa do módulo III da estação de tratamento de esgotos Mangabeira (João Pessoa-PB)**. Tese de Doutorado - Universidade de São Paulo, 125 p. São Carlos, 2010.

OLIVEIRA, M. M. M.; BRUGNETRA, D. F.; PICCOLI, R. H. **Biofilmes microbianos na indústria de alimentos: uma revisão**. Revista Instituto Adolfo Lutz, 69(3): 277-284, 2010.

PERCIVAL, S.L.; MALIC, S.; CRUZ, H.; WILLIAMS, D.W. **Introduction to biofilms**. Biofilms and Veterinary Medicine. 6: 41-69, 2011.

PEREIRA JÚNIOR, J. S. **Aplicabilidade da Lei nº. 11.445/2007 - Diretrizes Nacionais para o saneamento básico**. Câmara dos Deputados. Brasília, 2008.

PÉREZ, G. R.; RESTREPO, J.J.R.. **Fundamentos de limnología neotropical**. Fondo Editorial Universidad Católica de Oriente, 2 ed, 592p, 2008.

PÉREZ, J. M. **Biofilme e macrófitas como ferramenta de recuperação em ecossistemas aquáticos e tratamento de esgotos**. Universidade Federal da Paraíba, UFPB. (Dissertação de Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente), 2015.

PINTO, L. P. *et al.* Mata Atlântica Brasileira: os desafios para conservação da biodiversidade de um *hotspot* mundial. **Biologia da conservação: essências**. São Carlos: RiMa, p. 91-118, 2006.

PLANSAB. **Relatório de Avaliação Anual do Plano Nacional de Saneamento Básico -Ano 2014**. (2015). Disponível em:

<https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/PlanSaB/relatorio_anual_avaliacao_plansab_2014_15122015.pdf>. Acesso em: 28 jun. 2022.

RAMANAN, R. et al. Algae–bacteria interactions: evolution, ecology and emerging applications. **Biotechnology advances** , v. 34, n. 1, p. 14-29, 2016.

RAMDINE, G. et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface sediment and oysters (*Crassostrea rhizophorae*) from mangrove of Guadeloupe: levels, bioavailability, and effects. **Ecotoxicology and Environmental Safety** , v. 79, p. 80-89, 2012.

REBOUÇAS, V.T.; CALDINI, N.N.; CAVALCANTE, D.H.; SILVA, F.J.R.; SÁ, M.V.C.. **Interaction between feeding rate and area for periphyton in culture of Nile tilapia juveniles**. Acta Scientiarum. Animal Sciences, 34(2), 161-167, 2012.

REIS, A. L. Q. **Índice de sustentabilidade em uma bacia ambiental: uma abordagem para a gestão e planejamento da conservação e preservação dos rios urbanos de João Pessoa (PB)**. 2016. 260 p. Tese (Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB, 2016.

RIBEIRO, E. V. **Avaliação da qualidade da água do Rio São Francisco no segmento entre Três Marias e Pirapora – MG: Metais Pesados e atividades antropogênicas**. 2010. 196f. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG.

RIEDEL, D. (org). **Os canaviais e os mocambos - Paraíba, Pernambuco e Alagoas**. São Paulo; Cultrix, 1959. (Coletânea Histórias e Paisagens do Brasil, vol. III, p. 20-30.

RQI - Revista de Química Industrial. Contaminantes Emergentes: avaliação da redução de toxicidade em efluentes industriais. **Associação Brasileira de Química**, 81^a, n. 738, p. 36, 2013.

ROSA, P. R. O. **Agonia de um rio Marcado para morrer**. João Pessoa: Jornal Contraponto, 23 a 29 março de 2009, caderno A, p. 5.

ROSSI, W.; BRANCO, L.C.; LACERDA, J.A.; GOMES, A.C.; WAGNER, E.M.S. Fontes de Poluição e o Controle da Degradação Ambiental dos Rios Urbanos em Salvador. **RIGS - Revista interdisciplinar de gestão social** (Online), 1(1): 61 – 74, 2015.

ROUSELL, E.; BURGESS, J.. River Landscapes: changing the concrete overcoat? In: **Landscape Research**. (Orgs.) Penning-Roussel, E. et al – 2(22), England, 1997.

SALLA, M.R.; PEREIRA, C.E.; ALAMY-FILHO, J.E.; PAULA, L. M.; PINHEIRO, A.M. **Estudo da autodepuração do Rio Jordão, localizado na bacia hidrográfica do Rio Dourados**. Engenharia Sanitária Ambiental, 18(2):105-114, 2013. SALLES, M. J. **Política Nacional de Saneamento: percorrendo caminhos em busca da universalização**. 2009. 185 f. Tese (Doutorado em Saúde Pública) - Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca. Rio de Janeiro, 2009.

SANTOS, C. L.; SOUZA, A. S.; VITAL, S.R O.; GIRÃO, O.; WANDERLEY, L. S. A. Impactos da urbanização em bacias hidrográficas: O caso da bacia do Rio Jaguaribe, cidade de João Pessoa/PB. In: **REGNE**. Vol. 2 N° Especial. P. 1024-1033. Rio Grande do Norte, 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/330700155_Volume_2_Numero_Especial_2016_I_MPACTOS_DA_URBANIZACAO_EM_BACIAS_HIDROGRAFICAS_O_CASO_DA_BACIA_DO_RIO_JAGUARIBE_CIDADE_DE_JOAO_PESSOAPB_Impacts_of_development_in_river_basins_the_Jaguaribe_river_basin_>. Acesso em: 13 de maio de 2023.

SCHWARZBOLD, A.; BURLIGA, A. L.; TORGAN, L. C. **Ecologia do Perifíton**. São Carlos: RiMa editora, 413p, 2013.

SILVA, E. R. Um percurso pela história através da água: passado, presente, futuro. (2000). In: **XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Disponível em: <www.bvsde.paho.org/bvsaidis/saneab/xi-009.pdf>. Acesso em: 21 jun. 2022.

SILVA, M. T. P. **Avaliação da toxicidade e caracterização de hidrocarbonetos presentes em águas de rios que recebem efluente de indústria petroquímica**. 2013. 126 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Celular e Molecular). Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Rio Claro, 2013.

SILVEIRA, A. L. L. **Hidrologia urbana no Brasil**. In: BRAGA, B; TUCCI, C. E. M.; TOZZI, M. (orgs). Drenagem urbana: Gerenciamento, simulação, controle. 1ed. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFGRS,1998.

SOUSA, C. E. **Avaliação de sistemas biorremediadores em efluentes da lagoa facultativa da estação de tratamentos de esgotos em Mangabeira, João Pessoa/PB**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, da Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa-PB, 2015.

SOUZA, N.R.L.; SILVA, V.V.; ANDRADE, E.H.A.; LIMA, V.R.P. **Análise dos efeitos de borda na Mata do Buraquinho, João Pessoa, Paraíba**. Revista da Casa da Geografia de Sobral, Sobral/CE, Dossiê: Estudos da Geografia Física do Nordeste brasileiro, 21(2): 205-217, Set. 2019.

SOUZA, A. H. F. F. de. **Avaliação da eficiência da biorremediação por perifiton em um rio urbano**. Orientador: Maria Cristina Basílio Crispim da Silva. 2020. 198 f. Tese (Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB, 2020.

SNS – SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO. MDR – Ministério do Desenvolvimento Regional. **Panorama do Saneamento Básico no Brasil, 2021**. Brasília DF: [s. n.], 2021. 223 p. Disponível em: http://www.snis.gov.br/downloads/panorama/PANORAMA_DO_SANEAMENTO_BASICO_NO_BRASIL_SNIS_2021.pdf. Acesso em: 14 jul. 2022.

SPERLING, M. V. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005

SUASSUNA, M. A. **Morfologia urbana**. Qualidade de Vida e Ambiental em Assentamentos Espontâneos: O caso do Bairro São José - João Pessoa- PB. 2004. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Centro de Ciências Exatas e da Natureza! Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente/Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2004.

SUDEMA (Paraíba). **DZS 205**: Enquadramento dos corpos d'água da bacia hidrográfica do rio Paraíba. João Pessoa, PB: [s. n.], 1988. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/documentos/enquadramento/>. Acesso em: 5 set. 2022.

SUDEMA. Jardim Botânico Benjamin Maranhão comemora 22 anos. In: **Notícias**. [S. l.], 28 ago. 2022. Disponível em: <https://sudema.pb.gov.br/noticias/jardim-botanico-benjamin-maranhao-comemora-22-anos>. Acesso em: 2 set. 2022

TAVARES, F. S. B. et al. Análise cienciométrica de espaços verdes urbanos e seus serviços ecossistêmicos. **Interações**, Campo Grande, MS, v. 22, n. 1, p. 103-114, ja./mar. 2021. DOI <http://dx.doi.org/10.20435/inter.v22i1.2596>. Disponível em: <https://interacoesucdb.emnuvens.com.br/interacoes/article/view/2596/2536>. Acesso em: 27 ago. 2022.

TEIXEIRA, A. A. et al. Administração Pública dos Serviços de Saneamento Básico: Uma análise da aplicabilidade da Gestão Estratégica com o uso do Balanced Scorecard–BSC na Empresa Baiana de Águas e Saneamento–EMBASA. **Id on Line Revista Multidisciplinar e de Psicologia** , v. 9, n. 25, p. 159-179, 2015.

TRATA BRASIL. **Ranking do Saneamento Instituto Trata Brasil** – Relatório Brasil. São Paulo, SP. 1 de abril de 2022. Disponível em: https://tratabrasil.org.br/images/estudos/Ranking_do_Saneamento_2022/Relat%C3%B3rio_do_RS_2022.pdf . Acesso em 14 de julho de 2022.

TUCCI, C. E. M. Processos hidrológicos naturais e antrópicos. In: TUCCI, CARLOS E. M.; MENDES, CARLOS ANDRÉ. **Avaliação Ambiental Integrada de Bacia Hidrográfica**. 2.ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente / SQA, cap. 1, p. 15-99, 2006.

TUCCI, C. E. M. **Águas urbanas**. Estudos Avançados, 22(63): 97-112, 2008.

TUNDISI, J. G. **Recursos hídricos no futuro: Problemas e soluções**. Estudos Avançados, 22(63): 7–16, 2008.

VASCO, P. S. Estudo aponta que falta de saneamento prejudica mais de 130 milhões de brasileiros. In: **Senado Notícias**. Brasília DF: Moacyr de Oliveira Filho, 25 mar. 2022. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/infomaterias/2022/03/estudo-aponta-que-falta-de-saneamento-prejudica-mais-de-130-milhoes-de-brasileiros>. Acesso em: 14 jul. 2022.

VIEIRA, D. M. **Aquicultura Familiar: Contribuições para a Sustentabilidade**. Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, da Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa-PB, 2018.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2º ed., UFMG, Belo Horizonte, 246p.1996.

VON SPERLING, M. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, UFMG, vol. 7, 588p, 2007.

WETZEL, R. G. **Periphyton of freshwater ecosystems development**. The Hague. Dr. W. Junk Publ. Developments Hydrobiology, 17, 1983.

WETZEL, R.G. **Land-water interfaces**: metabolic and limnological regulators. Verh Internat Verein Limnol, 24: 6-24, 1990.

WU, Y.; LIU, J.; YANG, L.; CHEN, H.; ZHANG, S.; ZHAO, H.; ZHANG, N. **Allelopathic control of cyanobacterial blooms by periphyton biofilms**. Environ Microbiol. 13(3):604-615. 2010.

WU, J; XIA, L; YU, Z; SHABBIR, S; KERR, P.G. ***In situ* bioremediation of surface waters by periphytons**. Bioresource Technology. 2013.

3 CAPÍTULO 1: AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE QUATRO TRECHOS DO RIO JAGUARIBE NA ÚLTIMA DÉCADA

RESUMO

O processo de urbanização trouxe consigo diversos impactos e dentre eles podemos destacar a degradação da qualidade da água de rios e ambientes aquáticos diversos. Os rios mais impactados são os que interagem em sua maior parte com o perímetro urbano. Os denominados rios urbanos oferecem diversos benefícios aos seus habitantes com características biológicas e geomorfológicas diversas, porém os mesmos não são considerados nos planejamentos de muitas cidades e passam a ser alvos de despejo de efluentes *in natura* causando eutrofização, assoreamento por resíduos sólidos, captação indevida, presença de construções e desvios nos seus cursos. Para realizar uma efetiva gestão do curso hídrico é necessário realizar um diagnóstico da qualidade da água ao longo do tempo e a partir disto projetar futuras ações para recuperação da qualidade do curso hídrico. Sendo assim, o Rio Jaguaribe, um dos principais rios da cidade de João Pessoa, necessita de um diagnóstico para identificação de problemas pontuais que deterioram a sua qualidade. Este capítulo objetiva avaliar a qualidade da água do Rio Jaguaribe na última década em quatro pontos estratégicos da cidade de João Pessoa. Os dados foram disponibilizados pela Superintendência de Administração do Meio Ambiente (SUDEMA) que realiza o monitoramento da qualidade dos recursos hídricos no estado da Paraíba. O monitoramento é feito em quatro pontos do Rio Jaguaribe e realizadas análises físicas, químicas e microbiológicas de acordo com o *Standard Methods 23th*. O diagnóstico foi realizado comparando os valores obtidos nas análises da SUDEMA com os Valores Máximos Permitidos determinados na Resolução CONAMA nº 357/2055, de acordo com o enquadramento do rio. Foram analisados 13 parâmetros. Foi possível identificar que os parâmetros de Coliformes Termotolerantes, Oxigênio Dissolvido e Demanda Bioquímica de Oxigênio apresentam inconformidade com a Resolução CONAMA 357/05 que foi utilizada como padrão referencial nesta pesquisa. Através dos resultados obtidos e do diagnóstico realizado, foi possível atingir os objetivos traçados e identificar que o Rio Jaguaribe vem recebendo ao longo dos anos altas cargas de poluentes fecais em seu leito, o tornando impróprio em todos os trechos analisados para quaisquer usos citados na Resolução de Enquadramento utilizada como padrão para levantamento do diagnóstico.

Palavras chave: Diagnóstico Ambiental; Contaminação Hídrica; Efluentes Domésticos.

ABSTRACT

The urbanization process brought with it several impacts and among them we can highlight the degradation of the water quality of rivers and different aquatic environments. The most impacted rivers are those that mostly interact with the urban perimeter. The so-called urban rivers offer several benefits to their inhabitants with diverse biological and geomorphological characteristics, but they are not considered in the planning of many cities and become targets for the discharge of effluents in natura, causing eutrophication, silting by solid waste, improper collection, presence of constructions and deviations in their courses. In order to carry out an effective management of the watercourse, it is necessary to carry out a diagnosis of the quality of the water over time and, based on this, design future actions to recover the quality of the watercourse. Therefore, the Jaguaribe River, one of the main rivers in the city of João Pessoa, needs a diagnosis to identify specific problems that deteriorate its quality. This chapter aims to evaluate the water quality of the Jaguaribe River in the last decade at four strategic points in the city of João Pessoa. The data were provided by the Superintendence of Environmental Administration (SUDEMA), which monitors the quality of water resources in the state of Paraíba. Monitoring is carried out at four points on the Jaguaribe River and physical, chemical and microbiological analyzes are carried out in accordance with Standard Methods 23th ed. The diagnosis was carried out by comparing the values obtained in the SUDEMA analyzes with the Maximum Permissible Values determined in CONAMA Resolution nº 357/2055, according to the river's framework. Thirteen parameters were analyzed. It was possible to identify that the parameters of Thermotolerant Coliforms, Dissolved Oxygen and Biochemical Oxygen Demand do not comply with CONAMA Resolution 357/05, which was used as a reference standard in this research. Through the results obtained and the diagnosis carried out, it was possible to achieve the objectives outlined and identify that the Jaguaribe River has been receiving high loads of fecal pollutants in its bed over the years, making it unsuitable in all sections analyzed for any uses mentioned in the Resolution used as a standard for surveying the diagnosis, not fitting either as Class 2 in the stretch from the sources to the Buraquinho Dam or as Class 3 from the dam to its mouth.

Keywords: Environmental Diagnosis; Water Contamination; Domestic Effluents

3.1 INTRODUÇÃO

Sendo a água um recurso fundamental aos seres vivos e uma necessidade social, uma boa gestão é fundamental. A falta de um gerenciamento adequado aliado com a má distribuição espacial e temporal das precipitações gera hoje uma série de crises relacionadas com a gestão da água. O crescimento da taxa de urbanização e suas atividades demandam um aumento no consumo de água e por conseguinte, ocupações irregulares que causam a degradação da água, principalmente em ambientes urbanos. Dados expostos pela Organização Mundial da Saúde – OMS estimam que morrem anualmente 15 mil pessoas no Brasil devido a doenças relacionadas com a precariedade da distribuição e da má qualidade da água (LEMOS, 2020). Além disto, a qualidade e a vida dos rios também são afetadas por atividades antrópicas intensificadas no período de urbanização. A falta de estabilidade do solo somado à ausência de vegetação ciliar e da mata como um todo impacta negativamente os rios de forma inegável e não modesta (ARAÚJO, ALMEIDA e GUERRA, 2005). Os rios mais impactados são os que interagem em sua maior parte, com o perímetro urbano. Os denominados rios urbanos oferecem diversos benefícios aos seus habitantes com características biológicas e geomorfológicas diversas, porém os mesmos não são considerados nos planejamentos de muitas cidades e passam a ser alvos de despejo de efluentes *in natura* causando eutrofização, assoreamento por resíduos sólidos, captação indevida, presença de construções e desvios nos seus cursos (REIS, 2016; ROSSI et al., 2015; SOUZA, 2020).

Em João Pessoa – PB destaca-se o rio urbano Jaguaribe que nasce e desagua nos limites geográficos da capital. Ele teve o seu curso alterado, suas margens ocupadas e sua qualidade degradada. Tendo em vista a importância e os serviços ecossistêmicos perdidos ao longo da degradação do referido rio, faz-se necessário um diagnóstico da qualidade da água do rio para facilitar a identificação de ações que o impactaram ao longo dos anos. O ecossistema aquático desse corpo hídrico está submetido à qualidade dos impactos provenientes das atividades humana e dos diversos usos da água que modificam as suas características e produzem alterações que as tornam impróprias para outros usos, além de inviabilizar a vida aquática e sustentável do rio.

- Com isso, objetiva-se neste capítulo avaliar a qualidade da água do Rio Jaguaribe em pontos estratégicos nos últimos 10 anos. Serão utilizados dados de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos a fim de comparar a qualidade do rio aos padrões estabelecidos na legislação vigente. A pesquisa foi realizada em parceria com a Superintendência de Administração do Meio Ambiente, que através de seu programa de monitoramento da qualidade de água, forneceu

através de solicitação formal os dados do Rio Jaguaribe no espaço de tempo delimitado na pesquisa (10 anos). Esta pesquisa visa avaliar a qualidade da água do Rio Jaguaribe na última década em quatro pontos estratégicos da cidade de João Pessoa. Para alcançar este objetivo geral, conta com os objetivos específicos: i) determinar os parâmetros físicos e químicos da água do Rio Jaguaribe; ii) estabelecer a qualidade microbiológica da água do Rio Jaguaribe; iii) analisar e comparar a qualidade da água coletada nos pontos de amostragem com os padrões estabelecidos na legislação vigente.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

A poluição das águas nas bacias hidrográficas tem como origem efluentes domésticos ou industriais e carga difusa urbana e agrícola. Geralmente a avaliação da qualidade da água é feita pela composição dos resultados obtidos das amostras comparadas com os padrões de qualidade estabelecidos para a classe em legislação.

Sendo assim, para a realização da pesquisa buscou-se fontes bibliográficas, através da literatura, e normas vigentes, apresentando as características mínimas necessárias para avaliar a qualidade da água. Para o diagnóstico da qualidade da água do Rio Jaguaribe utilizaram-se os dados do monitoramento de 2011 a 2021. Com os dados disponíveis (ANEXO I), foram comparados com a legislação vigente nos parâmetros disponíveis.

3.2.1 Área de Pesquisa e Obtenção de Dados

A Bacia Hidrográfica do Rio Jaguaribe está localizada quase que em sua totalidade no município de João Pessoa – PB. A bacia possui uma área de drenagem de aproximadamente 4.824,52 ha, passando por 64 bairros da cidade até encontrar-se com o Rio Mandacarú e somar-se à Bacia do Rio Paraíba. O rio principal, Jaguaribe, possui cerca de 19,1 Km de extensão e é caracterizado por diversas contribuições de esgotos domésticos em seu leito, ocupações em suas margens e modificações em seu curso, como impactos antrópicos (DIEB, 2013).

Por contribuir com a Bacia do Rio Paraíba, o rio em estudo foi apontado em 2004 pela AESA, em uma proposta de instituição do Comitê de Bacia Hidrográfica da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, por apresentar poluição hídrica advindo de efluentes domésticos.

Quadro 2. Poluição da Bacia do Rio Paraíba

Região	Manancial	Impacto
Alto Curso do Rio Paraíba	Açude Cordeiro	Contaminação por irrigação e agrotóxicos
	Açude Epitácio Pessoa	Poluição por agrotóxicos

Médio Curso do Rio Paraíba	Rio Bodocongó, açude Acauã	Poluição hídrica com a qualidade da água comprometida
Baixo Curso do Rio Paraíba	Açude Marés	Desmatamento das margens do açude, invasão de terras e poluição hídrica
	Rio Sanhauá, Rio Jaguaribe , Rio Jacuípe, entre outro	Poluição hídrica principalmente por esgotos domésticos
	Rio Cabocó	Poluição por usinas de cana-de-açúcar e agricultura
	Riacho Tibiri	Construção desordenada de balneários, poluição por agrotóxicos principalmente por plantações de cana-de-açúcar

Fonte: AESA, 2004 p. 43 (Adaptado pelo autor, 2022)

Exposta a necessidade de iniciar o estudo com um diagnóstico da qualidade da água do Rio Jaguaribe, os resultados do monitoramento foram solicitados à Superintendência de Administração do Meio Ambiente – SUDEMA (que realiza o monitoramento dos principais rios da Paraíba) via ofício, no endereço digital protocolo@sudema.pb.gov.br. A solicitação gerou o processo eletrônico na plataforma PBD0C com nº SUD-PRC-2022/02311 com data de abertura em 21 de março de 2022.

Foram disponibilizados os dados do monitoramento realizado pela SUDEMA no intervalo de tempo entre 2011 e 2021 para serem utilizados a fim de fornecer um diagnóstico do histórico da qualidade da água do Rio Jaguaribe em 4 estações fixas: Jaguaribe 1 (JB01) localizado próximo a uma estação elevatória da CAGEPA no bairro do Varjão; Jaguaribe 2 (JB02) após a “Mata do Buraquinho”; Jaguaribe 3 (JB03), localizado próximo à ponte sobre o Rio Jaguaribe na altura da Av. Beira Rio; e por fim Jaguaribe 4 (JB04) na sua nova foz, antes da confluência com o Rio Mandacarú. Os pontos de amostragem seguem as coordenadas geográficas descritas abaixo (Quadro 4) e posteriormente o mapa para visualização espacial (Figura 5).

Quadro 3. Coordenadas das Estações de Amostragem.

Ponto	Coordenadas
JB 01	S 07°08'28.8" W 034°52'16.0"
JB 02	S 07°08'07.6" W 034°51'30.1"
JB 03	S 07°07'28.2" W 034°49'48.3"
JB 04	S 07°05'59.0" W 034°50'51.3"

Fonte: SUDEMA, 2022. Adaptado pela autora.

Figura 5. Pontos de coleta



Fonte: Autora, 2022.

As amostras de água foram colhidas seguindo o Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras¹⁰ em garrafas de polipropileno, previamente esterilizadas em autoclave e só abertas no local de coleta, com os cuidados necessários para evitar possíveis contaminações. Após a coleta, os frascos foram fechados para reduzir ao máximo a volatilização ou biodegradação da amostra entre o momento da coleta e o de análise, as garrafas foram devidamente armazenadas e transportadas em caixas térmicas com gelo para manutenção da temperatura. Em laboratório as amostras seguiram os ensaios descritos no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*¹¹(2017). A SUDEMA só começou a realizar análises de Acidez Total, Alcalinidade, Dureza Total e Cloretos no final de 2018, por este motivo esses dados só aparecerão neste intervalo temporal (2018 a 2021).

Segundo o enquadramento ainda em vigor na produção desta dissertação, a DZZS 205 (Enquadramento dos Corpos D'Água da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba) divulgado através da Agência Executiva de Gestão das Águas – AESA pela metodologia de enquadramento seguida nesta diretriz supracitada, os “rios de pequeno, médio e grande porte, a partir do trecho de Classe 1, enquadrados na Classe 2” (AESA, 19988). Tal enquadramento publicado determina que o Rio Jaguaribe e afluentes, da nascente até a barragem do açude Buraquinho é

¹⁰ ANA/CETESB – Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras, 2011.

¹¹ APHA – Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23th Edition, 2017.

Classe 2 e a partir da barragem Buraquinho até a formação do Rio Mandacarú (ponte BR 230) foi determinado como Classe 3.

Figura 6. Enquadramento Rio Jaguaribe. Linha vermelha Classe 2. Linha amarela Classe 3



Fonte: adaptado pela autora, 2023.

O enquadramento distinto, de acordo com a DZD 205 que é vigente até o presente momento e que classificara o JB01 como Classe 2 e os demais pontos de amostragem como Classe 3, serão levados em consideração e utilizados como padrão para determinação da qualidade da água do Rio Jaguaribe ao longo dos últimos 10 anos, de acordo com a Resolução nº 357/05. Os dados solicitados foram disponibilizados via e-mail e constam ao fim desta dissertação.

3.2.2 Parâmetros Analisados

De acordo com os dados recebidos pela SUDEMA, segue neste tópico os parâmetros analisados e a metodologia utilizada pelo órgão ao longo dos anos, de acordo com o *Standard Methods* (APHA, 2017).

3.2.2.1 Temperatura (°C)

Processos físicos, químicos e biológicos, como o metabolismo dos organismos e degradação da matéria orgânica são determinados pela temperatura. A taxa das reações que ocorrem nos ambientes aquáticos e a diminuição de gases como oxigênio dissolvido são

consequências do aumento da temperatura. Além disso, a temperatura é influenciada por alguns fatores, como altitude, latitude, estações do ano, horário do dia, taxa de fluxo e profundidade. Desta forma, em ambientes aquáticos, mudanças bruscas de temperatura podem causar efeitos drásticos às comunidades bióticas e alterar as características químicas da água (CETESB, 2014; DIAS, 2021; SPERLING, 2005). A medição da temperatura das amostras foi realizada seguindo método nº 2550 B do *Standard Methods* (APHA, 2017).

3.2.2.2 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O Potencial hidrogeniônico – pH pode ser considerado como uma das variáveis ambientais mais importantes, assim como uma das mais difíceis de interpretar, podendo ser resultado de fatores naturais ou antrópicos. Esta complexidade na interpretação se deve ao grande número de fatores que podem influenciá-lo. Alterações no pH podem causar ao homem irritação de pele e olhos, além de afetar a vida aquática e até provocar seu desaparecimento (LIBÂNIO, 2005).

O pH, é comumente utilizado para classificar soluções em relação à sua acidez ou alcalinidade, e essa medida baseada na concentração de íons de hidrogênio (H^+) que contém na amostra. A sua escala de medição varia entre 0 e 14 e é inversamente proporcional à concentração de íons de hidrogênio na solução, tendo como referência para ácido ($pH < 7$), neutro ($pH = 7$) e alcalino ou básico ($pH > 7$). A medição foi realizada *in loco* utilizando o método eletrônico, que é mais preciso, utilizando do potenciômetro.

3.2.2.3 Condutividade Elétrica ($\mu S/cm$)

Corresponde à capacidade da água conduzir uma corrente elétrica. Este indicador se encontra na dependência das concentrações iônicas e da temperatura, indicando a quantidade de sais existentes na coluna de água e por conseguinte, configura uma medida indireta da concentração de poluentes (CETESB, 2014).

O parâmetro foi realizado seguindo o método nº 2520 B do *Standard Methods* (APHA, 2017). As legislações vigentes não apresentam valores de referência para tal parâmetro.

3.2.2.4 Turbidez (NTU)

É um parâmetro físico importante no monitoramento de mananciais por estar inteiramente relacionado com outros parâmetros químicos e biológicos, por determinar o grau de pureza da água indicando estética para o seu uso. A turbidez promove também a redução de

intensidade dos raios luminosos que penetram na água, influenciando nas características do ecossistema. Quando em grau elevado, prejudica a fotossíntese das algas, quando as partículas sedimentadas formam bancos de lodo onde há digestão anaeróbia leva à formação de gases com mau odor, devido à presença de sulfeto que é tóxico.

A turbidez representa o grau de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessá-la devido à presença de sólidos em suspensão, tais como partículas inorgânicas (areia, salte e argila) e de detritos orgânicos, algas e bactérias, plâncton em geral e sais, como ferro, alumínio e manganês (CETESB, 2014).

Sendo assim, quanto maior o espalhamento dessas partículas maior será a turbidez. A unidade de medida para este parâmetro é *Nefelometric Turbidity Unit* – NTU (Unidade Nefelométrica de Turbidez), método nº 2130 B no *Standard Methods* (APHA, 2017).

3.2.2.5 Cor Aparente (Pt-Co)

O grau de redução de intensidade que a luz sofre ao atravessá-la devido à presença de sólidos dissolvidos é associado à cor de uma amostra de água. Nas legislações brasileiras o parâmetro cor é incluído como padrão de classificação de águas superficiais. A cor aparente é medida utilizando o método espectrofotométrico que se baseia na medida quantitativa da absorção da luz pelas soluções onde a concentração na solução da substância absorvente é proporcional à quantidade de luz absorvida. A metodologia utilizada está descrita como nº 2120 C do *Standard Methods* (APHA, 2017).

3.2.2.6 Sólidos Dissolvidos Totais – SDT (PPM)

Entendidos como sais inorgânicos, como cálcio, magnésio, potássio, sódio, bicarbonato, cloretos e sulfatos, e algumas pequenas quantidades de matéria orgânica que são dissolvidas em água. Em determinação da qualidade da água, o parâmetro avalia o peso total dos constituintes minerais presentes na água, por unidade de volume.

Ainda segundo Dias (2021), os sólidos quando em excesso podem causar impactos negativos no leito dos rios, afetando aos peixes e a vida aquática quando sedimentam e destroem organismos que fornecem alimentos, além de danificar os leitos de desova de peixes.

3.2.2.7 Oxigênio Dissolvido – OD (mg/L O₂)

O OD é originado com a dissolução do oxigênio atmosférico, produzido por organismos fotossintéticos e sua solubilidade varia com a altitude e a temperatura. É fundamental a

determinação desse parâmetro para avaliar as condições naturais da água e detectar impactos ambientais como eutrofização e poluição orgânica. O OD é necessário para a respiração da maioria dos organismos que habitam o meio aquático. Quando a água recebe grandes quantidades de substâncias orgânicas biodegradáveis o OD é reduzido ou desaparece. Sendo assim, quanto maior a carga de matéria orgânica, maior o número de microrganismos decompositores e consumidores de oxigênio, chegando a concentrações baixas de OD. A morte de peixes em rios poluídos, por exemplo, se deve à ausência de oxigênio e não à presença de substâncias tóxicas (SPERLING, 2005) na maior parte das vezes. As concentrações de oxigênio dissolvido disponível na água são então o resultado da produção, menos o consumo e volatilização deste. A técnica que foi seguida está descrita no método nº 4500-O do *Standard Methods* (APHA, 2017).

3.2.2.8 Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO (mg/L O₂)

O parâmetro DBO representa a quantidade de oxigênio dissolvido utilizado por organismos biológicos aeróbios para oxidar a matéria orgânica na amostra de água. Elevados valores de DBO indicam um esgotamento acelerado de oxigênio, ou seja, o efluente dispõe de mais matéria orgânica e conseqüente menos oxigênio estará disponível para formas superiores de vida aquática.

Foi utilizada a DBO_{5,20}, que é realizada em dois momentos, sendo o primeiro imediatamente (OD_{inicial}) e posteriormente, após a incubação da amostra por 5 dias a uma temperatura de 20°C (OD_{final}). A diferença entre os dois valores representa a quantidade de oxigênio consumida pelos microrganismos para decompor a matéria orgânica presente na amostra no período de incubação, correspondendo à DBO (DIAS, 2021).

Foi utilizado o método 5210 B do *Standard Methods* (APHA, 2017) para determinação da Demanda Bioquímica de Oxigênio.

3.2.2.9 Coliformes Termotolerantes – CT (UFC/100 ml)

Os Coliformes Termotolerantes são considerados bioindicadores e a sua presença indica contaminação fecal. São bactérias que compõem o grupo das bactérias coliformes tendo como principal representante a *Escherichia coli*, de origem exclusivamente fecal. Segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água para o seu enquadramento, no Art 2º, inciso XI, coliformes termotolerantes são definidos como:

Bactérias Gram-negativas, em forma de bacilos, oxidase-negativas, caracterizadas pela atividade da enzima β-galactose. Podem crescer em meios contendo agentes

tenso-ativos e fermentar a lactose nas temperaturas de 44° – 45°C, com produção de ácido, gás e aldeído. Além de estarem presentes em fezes humanas e de animais homeotérmicos, ocorrem em solos, plantas ou outras matrizes ambientais que não tenham sido contaminados por material fecal.

Para a identificação do coliforme termotolerantes foi utilizado o método de membrana filtrante que utiliza o meio de cultura *M FC Broth Base*. As placas são de plástico não tóxico, esterilizadas. A membrana filtrante é de acetato de celulose, com 47 mm de diâmetro e porosidade de 0,45µm, branca quadriculada e esterilizada. Após a preparação da placa com o cartão absorvente e 2ml do meio de cultura, 100 ml da amostra é processada em um sistema de filtração com bomba a vácuo. Após a sucção, a membrana utilizada na filtração da amostra é introduzida dentro da placa de Petri com o lado quadriculado para cima, a placa é tampada e incubada de forma invertida por 24 horas em uma incubadora com temperatura de 44,5°C. Após o período de incubação, os coliformes termotolerantes, que aparecem na cor azul, são contados como sendo Unidade Formadora de Colônia (UFC). O método utilizado é o nº 9222 D do *Standard Methods* (APHA, 2017).

3.2.2.10 Alcalinidade Total (mg/L CaCO³)

Alcalinidade na água pode ser definida como sua capacidade de reagir quantitativamente com um ácido forte até um valor definido de pH, tendo como principais componentes os sais do ácido carbônico, que são os bicarbonatos e carbonatos e os hidróxidos. Os carbonatos e hidróxidos podem aparecer em águas onde ocorrem florações de algas, sendo que em períodos de intensa insolação o saldo da fotossíntese em relação à respiração é grande e a retirada de gás carbônico provoca a elevação de pH para valores que chegam a atingir 10 unidades.

A principal fonte de alcalinidade de hidróxidos em águas naturais ocorre devido à descarga de efluentes industriais, onde bases fortes, como soda cáustica e cal hidratada, são utilizadas.

A determinação da alcalinidade se dá através de titulação de neutralização ácido/base, descrita no método 2320 B no *Standard Methods* (APHA, 2017).

3.2.2.11 Acidez Total (mg/L CaCO³)

A acidez de uma água pode ser definida como sua capacidade de reagir quantitativamente com uma base forte até um valor definido de pH, devido à presença de ácidos fortes (ácidos minerais: clorídrico, sulfúrico, nítrico, etc.), ácidos fracos (orgânicos: ácido

acético, por exemplo, e inorgânicos: ácido carbônico, por exemplo) e sais que apresentam caráter ácido (sulfato de alumínio, cloreto férrico, cloreto de amônio, por exemplo).

A importância no controle da acidez das águas está relacionada com o poder de corrosão, que além de poder ser provocada pelo gás carbônico (que está presente em águas naturais) pode ser provocada pelos ácidos minerais (geralmente presente em efluentes industriais), ou seja, a acidez pode ser usada como um indicador de despejo de efluentes em águas naturais. No entanto, quando o rio recebe muito esgoto, com a presença de sabões, este parâmetro pode ser mascarado, visto que o sabão tem pH alcalino e apresentar valores perto de neutro (7,0).

A acidez total representa o teor de dióxido de carbono livre, de ácidos minerais, ácidos orgânicos e ácidos fortes, os quais produzem íons de hidrogênio na água. A determinação da acidez em uma amostra de água foi realizada de acordo com o método 2310 A do *Standard Methods* (APHA, 2017).

3.2.2.12 Dureza Total (mg/L CaCO₃)

A dureza é provocada pela presença de íons de cálcio e magnésio. De acordo com os teores desses sais, expressos em mg.L⁻¹ de carbonato de cálcio (CaCO₃), a água pode ser classificada em mole (até 50 mg.L⁻¹), moderadamente dura (de 50 a 150 mg.L⁻¹), dura (de 150 a 300 mg.L⁻¹) e muito dura (acima de 300 mg.L⁻¹). Essa dureza pode ser temporária ou permanente, dependendo do tipo que os íons de cálcio e magnésio estão presentes na água.

A principal fonte de dureza nas águas é a sua passagem pelo solo. A portaria 1.469 do Ministério da Saúde limita a dureza em água potável em 500 mg.L⁻¹ CaCO₃ como valor máximo permitido. Alguns tipos de dureza são identificados, dentre eles, vale ressaltar a denominada pseudo-dureza que é provocada pela presença de íons de sódio, através do efeito de “íon comum”, em águas do mar e em águas salobras.

A dureza total é calculada como sendo a soma das durezas de cálcio e magnésio na água. A técnica titulométrica foi realizada de acordo com o método nº 2340 C o *Standard Methods* (APHA, 2017).

3.2.2.13 Cloretos (mg/L Cl)

Cloretos, na forma de íon, é um dos principais ânions inorgânicos na água e efluentes líquidos. O sabor salgado produzido pelas concentrações de cloreto é variável e dependente da composição química da água. Algumas águas podem ter um gosto salgado detectável se o cátion for sódio. Por outro lado, o sabor salgado típico pode estar ausente quando os cátions

predominantes são cálcio e magnésio. A concentração de cloreto é maior nas águas residuais do que na água bruta porque o cloreto de sódio é um ingrediente comum da dieta que passa inalterado pelo sistema digestivo. A concentração de cloretos em amostras de água também pode ser aumentada por processos industriais. Um alto teor de cloreto pode prejudicar tubulações e estruturas metálicas, bem como plantas em crescimento. Para determinação deste parâmetro foi utilizado o método nº 4500-Cl⁻ B no *Standard Methods* (APHA, 2017)

3.2.3 Tratamento dos Dados

Tendo em vista que as coletas e análises realizadas pela SUDEMA ocorrem trimestralmente e que o clima da bacia não tem as quatro estações do ano bem definidas, será utilizada a média dos resultados para expressar resultados por períodos: seco (setembro a fevereiro) e período chuvoso (março a agosto), conforme citada no tópico 2.5.1 (Caracterização da Bacia Hidrográfica) e indicado por Dieb (2013), visto que a precipitação é um dos fatores de grande alteração na qualidade de água em rios.

Os resultados obtidos foram comparados com a Resolução CONAMA nº 357/05 (Tabela 2) a fim de identificar se o curso hídrico atende ou não ao enquadramento e seus padrões ao longo da última década.

Tabela 2. Padrões Resolução CONAMA 357/05

LIMITES DE DETECÇÃO PARA ÁGUAS DOCES, CLASSE 2	
Parâmetros	Valor Máximo
Cor Verdadeira	75 mg Pt.L ⁻¹
Turbidez	100 NTU
DBO 5,20	<5 mg.L ⁻¹ O ₂
OD	>5 mg.L ⁻¹ O ₂
Ph	6,0 a 9,0
Coliformes Termotolerantes	1000 UFC
Cloreto Total	250 mg.L ⁻¹ Cl

*Parâmetros analisados e não citados não apresentam padrões na legislação utilizada.

Fonte: BRASIL, 2005. **ADAPTADO.**

Para a Classe 3, os únicos parâmetros que sofrem alteração são:

- DBO 5,20: até 10 mg.L⁻¹ O₂;
- OD: não inferior a 4 mg.L⁻¹ O₂;
- Coliformes Termotolerantes: até 2500 UFC/100 mL.

Sendo assim, os dados obtidos foram tratados de forma a gerar duas classificações por ano, sendo uma no período seco e outra no período chuvoso.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os pontos analisados no Rio Jaguaribe ao longo dos 10 anos são fixos e têm a classificação distinta segundo a DZS 205 (AESAs, 1988) sendo o JB01 Classe II e os demais pontos (JB 02, 03 e 04) como Classe III, seguindo os padrões na Resolução CONAMA 357/2005 que determina os seus usos. O JB01 pode ter por destinação, segundo a resolução supracitada, o abastecimento para consumo humano, após tratamento, a proteção das comunidades aquáticas; recreação de contato primário conforme a balneabilidade, a irrigação de lugares que o público possa ter contato direto e atividades de aquicultura e pesca. Os demais pontos poderiam ter por destinação o abastecimento humano com tratamento convencional ou avançado, irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras, pesca amadora, recreação de contato secundário e dessedentação de animais.

Todos os resultados apresentados serão comparados entre período seco e chuvoso e também com os padrões presentes na Resolução utilizada.

3.3.1 **Temperatura**

Os valores de temperatura obtidos no período seco variaram entre 25,5 °C e 30,5°C (Fig.7), enquanto no período chuvoso variou entre 24,9 °C e 29,5 °C (Fig.8), que são valores representativos da região e corroboram com os resultados apresentados por Souza (2020), em estudo no mesmo rio.

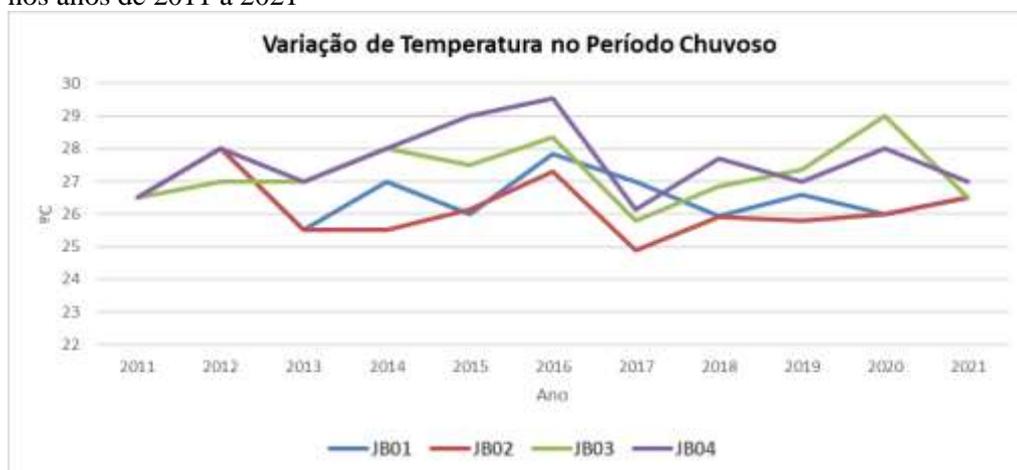
Em geral verifica-se um aumento de temperatura entre os anos de 2012 e 2016, com decréscimo em 2017 (Fig. 7). Esse período correspondeu a um intenso El Niño na região, que provocou um forte período de estiagens. Em 2018 verificou-se novo aumento nas temperaturas da água, com redução contínua até 2021. Os pontos JB01 e JB02 sofreram menos esse impacto de aumento de temperatura.

Figura 7. Valores de Temperatura no Período Seco nos trechos analisados do Rio Jaguaribe nos anos de 2011 a 2021



Fonte: Dados da Pesquisa, 2023

Figura 8. Valores de Temperatura no Período Chuvoso nos trechos analisados do Rio Jaguaribe nos anos de 2011 a 2021



Fonte: Dados da Pesquisa, 2023.

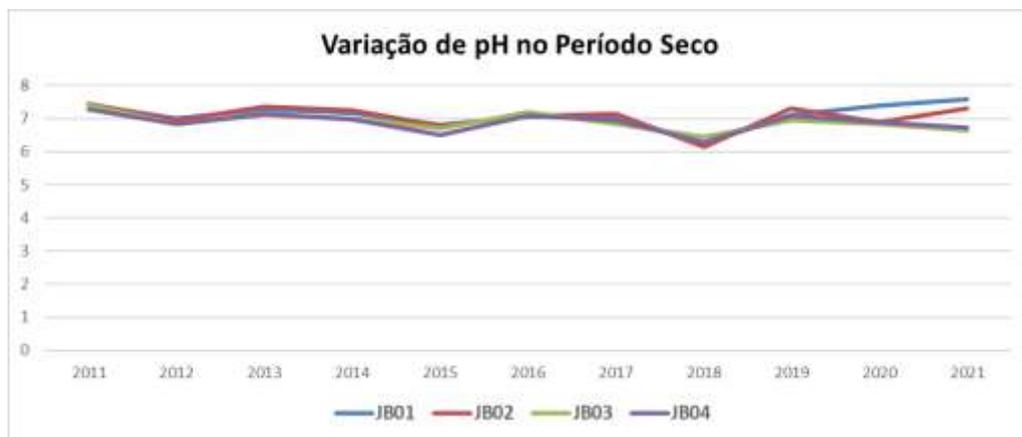
Os dados demonstram que os valores mais elevados de temperatura foram registrados no JB04, tanto no período de estiagem quanto no período de chuva (Figuras 7 e 8). Isso pode ser o resultado de maior quantidade de partículas em suspensão na água o que aumenta a absorção de calor, refletindo em temperaturas mais elevadas. Ao contrário o ponto de análise que apresentou temperaturas menos elevadas foi o JB02, logo após a Mata do Buraquinho (Figuras 9 e 10), por passar pela mata, a água sofre mais sombreamento, conseguindo manter temperaturas menos elevadas. Isso é um aspecto positivo para o ecossistema, porque permite uma menor perda de oxigênio para a atmosfera, pela maior solubilidade do oxigênio dissolvido.

3.3.2 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH foi o parâmetro que se manteve quase em sua totalidade dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/05 que são os mesmo para ambas as classes

dos pontos de coleta do Rio Jaguaribe, que é entre 6,0 e 9,0. Os valores registrados variaram de cerca de 6,0 a 7,5 no período seco (Fig. 9) e de 5,0 a perto de 8,0 no período chuvoso (Fig. 10). Não se verificou muita variação entre as estações de amostragem. Apenas no ano de 2013, especificamente no período chuvoso os resultados não atenderam a Resolução, apresentando valores próximos a 5,0 em todos os pontos amostrais. Este parâmetro também apresenta valores semelhantes aos registrados por Souza (2020) em sua pesquisa.

Figura 9. Valores de pH no Período Seco, nos trechos analisados do Rio Jaguaribe nos anos de 2011 a 2021



Fonte: Dados da Pesquisa, 2023.

Figura 10. Valores de pH no Período Chuvoso nos trechos analisados do Rio Jaguaribe nos anos de 2011 a 2021



Fonte: Dados da Pesquisa, 2023.

Observou-se a diminuição do pH nos 4 pontos no período chuvoso em 2013, podendo ser explicado pelo volume de chuva obtido neste ano, tendo por base que a água

da chuva é um grande lavador de gases e absorve para si substâncias presentes no ar que podem variar o pH de recursos hídricos dependendo da altura da chuva.

3.3.3 Turbidez

Os valores apresentam desacordo com a legislação ultrapassando o limite de 100NTU especificamente no ponto JB03 em 2021, no período seco.

Verificaram-se valores mais elevados de turbidez, no período de estiagem, no ponto JB04 e os menores em geral no ponto JB02, com exceção do ano de 2016 em que neste ponto se registrou um pico neste parâmetro, com cerca de 60 UNT. Em 2021, registrou-se o maior valor ao longo dos 10 anos no ponto JB03, com valor de perto de 160 UNT (Fig. 11).

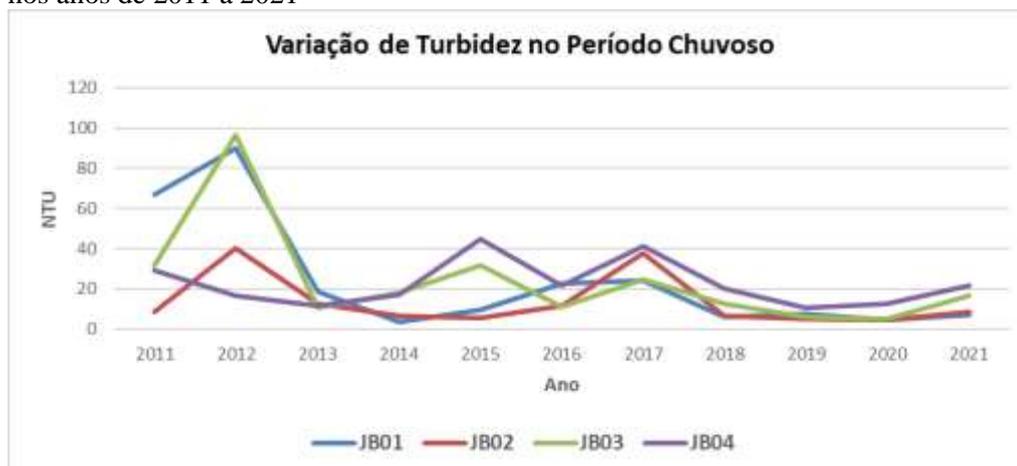
No período chuvoso os valores mais elevados foram de 100, atingidos no ano de 2012, nos pontos JB01 e JB03 (Fig. 12). Mas no geral os valores de turbidez oscilaram perto de 40 UNT, mas com valores abaixo de 20 UNT a partir de 2018, com os valores mais elevados nas estações JB03 e JB04, revelando que o rio acumula impactos e perda de qualidade de água ao longo do seu trecho da nascente para a foz, devido à entrada contínua de esgotos não tratados.

Figura 11. Variação de Turbidez no Período Seco nos trechos analisados do Rio Jaguaribe nos anos de 2011 a 2021



Fonte: Dados da Pesquisa, 2023.

Figura 12. Variação de Turbidez no Período Chuvoso nos trechos analisados do Rio Jaguaribe nos anos de 2011 a 2021



Fonte: Dados da Pesquisa, 2023.

3.3.4 Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)

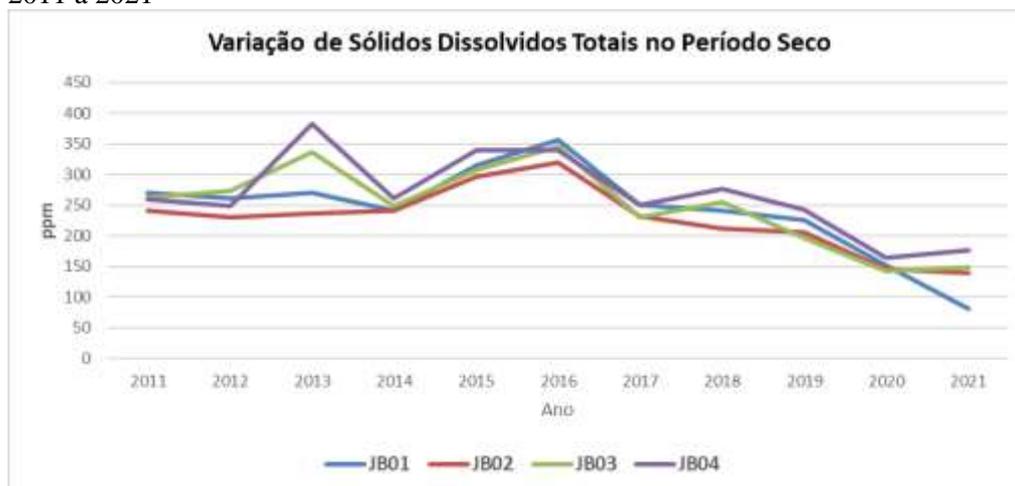
Os valores de SDT obtidos ao longo dos 10 anos estão abaixo do padrão imposto na Resolução CONAMA 357/05 que é de 500 mg.L⁻¹. Os valores encontrados corroboram com os obtidos na pesquisa de Souza (2020).

Nota-se que os valores são semelhantes em ambos os períodos, porém apresentam elevação no período seco, sendo possível impacto causado pelo recebimento de efluentes no rio em questão, e redução da diluição pela ausência de chuvas.

Em 2013 verifica-se um aumento nos valores de STD, com exceção dos pontos JB01 e JB03, e a partir de 2016 uma redução dos mesmos em ambos os períodos, estiagem e chuva (Figs. 13 e 14).

A turbidez no período de estiagem é mais influenciada pela presença de sólidos em suspensão e aumento do plâncton, e no período de chuva, também pela entrada de sedimentos, principalmente a argila, que demora mais a sedimentar. Os dados de turbidez no Rio Jaguaribe demonstram valores semelhantes entre 200 e 350 UNT até o ano de 2019, mas com valores decrescentes a partir daí para o período de seca e crescentes no período chuvoso. O aumento dos STD a partir de 2013 deve ser consequência da redução das chuvas e a redução a partir de 2017 deve ser devido ao aumento da chuva nesses anos.

Figura 13. Variação SDT no Período Seco nos trechos analisados do Rio Jaguaribe nos anos de 2011 a 2021



Fonte: Dados da Pesquisa, 2023.

Figura 14. Variação de SDT no Período Chuvoso



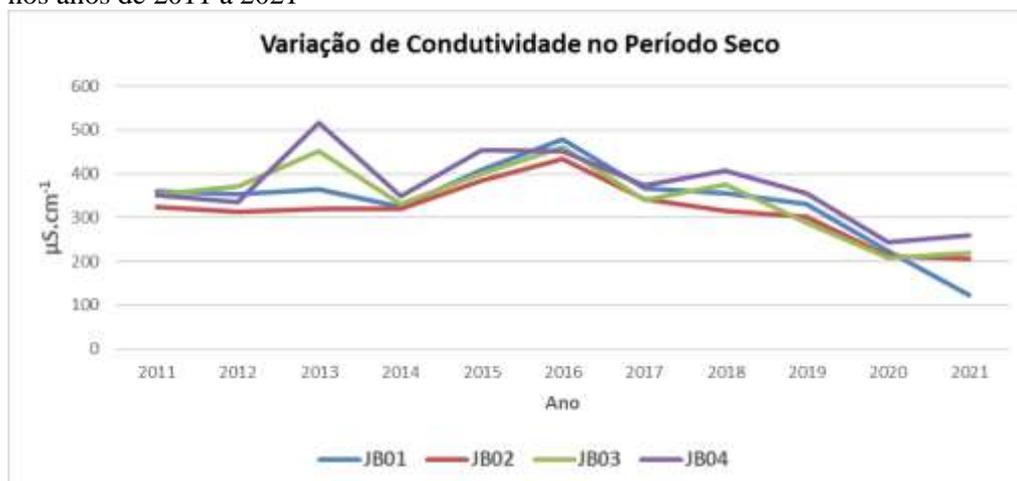
Fonte: Dados da Pesquisa, 2023.

3.3.5 Condutividade Elétrica (CE)

É possível observar que todos os valores obtidos em ambos os períodos está acima de $100 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (Figuras. 15 e 16) indicando concentração de sais e nutrientes. Os valores variam de $122,1 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ a $516 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ no período seco e $105,5 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ e $480,5 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ no período chuvoso. Souza (2020) obteve entre setembro e dezembro de 2017 valores entre $518 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ e $631 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Considerando os resultados obtidos, as elevadas quantidades de íons mostram que há presença de lançamento direto de efluentes no Rio Jaguaribe. A redução nos valores de condutividade a partir de 2017 está relacionado com o aumento da precipitação a partir desse ano.

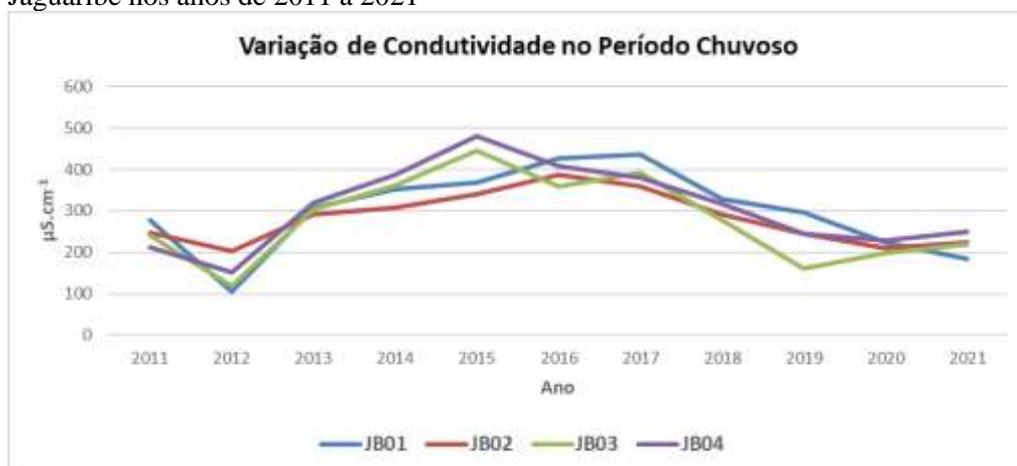
Mais uma vez verificou-se que os menores valores no ponto JB02 e os maiores no JB04, demonstrando a importância da Unidade de Conservação na melhoria da qualidade ambiental e que o rio acumula impactos piorando perto da foz.

Figura 15. Variação de Condutividade no Período Seco nos trechos analisados do Rio Jaguaribe nos anos de 2011 a 2021



Fonte: Dados da Pesquisa, 2023.

Figura 16. Variação de Condutividade no Período Chuvoso nos trechos analisados do Rio Jaguaribe nos anos de 2011 a 2021



Fonte: Dados da Pesquisa, 2023.

3.3.6 Oxigênio Dissolvido (OD)

É possível observar que apenas em 2012, no período chuvoso, os pontos JB01, JB02 e JB04 apresentaram resultados que atendem a Resolução (Fig.18), tornando possível diagnosticar o rio como contaminado por efluentes ao longo dos 10 anos de análise. Nota-se também que os valores nos pontos JB01 e JB02 obtidos no período seco entre 2011 e 2014 e no período chuvoso entre 2013 e 2014 são $<1,0 \text{ mg.L}^{-1}$ (Fig. 17), indicando maior contaminação

nesse período. As análises realizadas por Souza (2020) também evidenciaram resultados inconformes com a Resolução que foi utilizada nesta pesquisa.

Mais uma vez se registram os melhores valores no JB02 e os menores no JB04. Os valores registrados foram como citado sempre abaixo do valor mínimo preconizado pela Resolução e isso traz impactos diretos na biota, principalmente os peixes, que precisam de concentrações de oxigênio geralmente acima de $3,0 \text{ mg.L}^{-1}$. A concentrações de oxigênio são favorecidas pelo período chuvoso, passando de cerca de $3,5$ para $4,0 \text{ mg.L}^{-1}$, no ponto JB02, mas ainda valores muito baixos para a biota aeróbia.

Salienta-se que no ponto JB04 as concentrações de oxigênio dissolvido foram frequentemente abaixo de $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$, o que tem de ser corrigido por ações de restauração do rio, visto que a Lei N° 9.433/97, a PHRH preconiza que a gestão dos recursos hídricos é descentralizada e deve contar com participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades. Os valores da maioria dos parâmetros analisados estão em desacordo com águas inclusive de Classe III, isso coloca em risco não só os usos pelo ser humano, mas toda a biota do ecossistema. Valores abaixo de $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$, descaracterizam o rio como rio e o revelam como canal de efluentes, o que é um crime, considerando que a água é um recurso vital e que tende a diminuir a sua disponibilidade nos anos vindouros.

O aumento nas concentrações de OD no ano de 2012 estão relacionados com o aumento de precipitação nesse ano, sendo reduzidas principalmente em 2016, devido à maior precipitação nesse ano.

Figura 17. Variação de OD no Período Seco nos trechos analisados do Rio Jaguaribe nos anos de 2011 a 2021



Fonte: Dados da Pesquisa, 2023.

Figura 18. Variação de OD no Período Chuvoso nos trechos analisados do Rio Jaguaribe nos anos de 2011 a 2021



Fonte: Dados da Pesquisa, 2023.

3.3.7 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

Os valores de DBO variaram principalmente na faixa de 20 a 50 mg.L⁻¹, no período seco, sendo registrados valores de até 70 mg.L⁻¹ em 2021. A partir de 2018 com o aumento das taxas de precipitação os valores de DBO reduziram aumentando novamente em 2021 (Fig 19). Nesse período o ponto JB 01 só atendeu o limite em 2012, com 2,4 mg.L⁻¹ de O₂ correspondendo a 9,09% dos resultados. O ponto JB 02 atendeu os padrões entre 2011 e 2015 e 2020, correspondendo a 54,54% dos resultados. O ponto JB03 atendeu aos limites em 2011, 2012 e 2020, correspondendo a cerca de 27% das análises. O ponto JB04s só apresentou resultado conforme o padrão em 2012, sendo 9,09% das análises (Fig. 19).

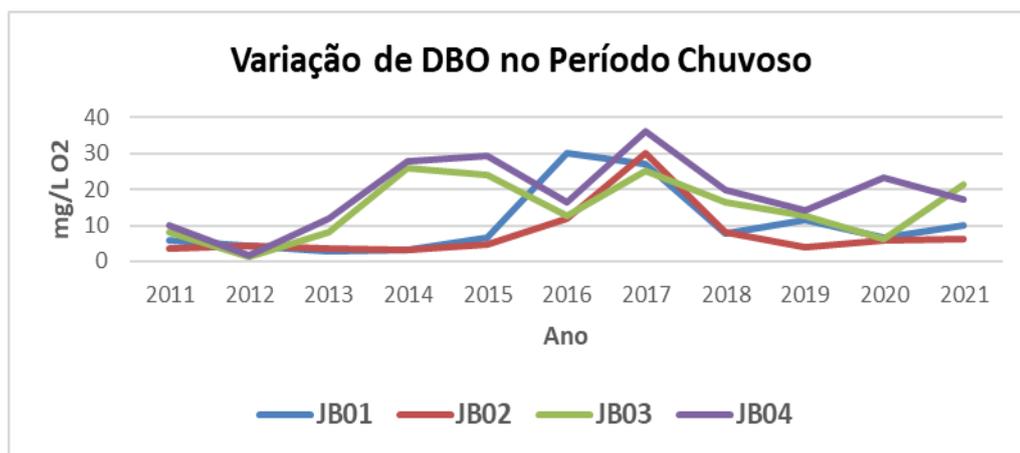
No período chuvoso a maioria dos valores de DBO estiveram entre a faixa de 10 a 30 mg.L⁻¹ (Fig. 20), demonstrando o efeito benéfico da chuva, que diminui as concentrações de compostos na água e melhora as condições ambientais. Neste período o ponto JB01 apresentou resultado conforme entre 2012 e 2014, correspondendo a cerca de 27% dos resultados. O ponto JB02 apresenta resultados satisfatórios entre 2011 a 2015 e 2019 a 2021, correspondendo a cerca de 72% das análises. O ponto JB03 apresenta bons resultados em 2011, 2013 e 2020, aproximadamente 27% dos resultados. Enquanto o JB04 apresenta menor porcentagem de conformidade a resolução no período chuvoso, apenas 2011 e 2012, aproximadamente 18% dos resultados (Fig. 20). Tais resultados encontrados corroboram com os de Souza (2020), para o mesmo rio.

Figura 19. Variação de DBO no Período Seco nos trechos analisados do Rio Jaguaribe nos anos de 2011 a 2021



Fonte: Dados da Pesquisa, 2023.

Figura 20. Variação de DBO no Período Chuvoso nos trechos analisados do Rio Jaguaribe nos anos de 2011 a 2021



Fonte: Dados da Pesquisa, 2023.

3.3.8 Coliformes Termotolerantes (CT)

Todos os resultados apresentados nas figuras abaixo mostram desacordo com a resolução, além de expor concentrações altíssimas de CT em todos os pontos e anos, deixando evidente a contaminação por efluentes domésticos não tratados.

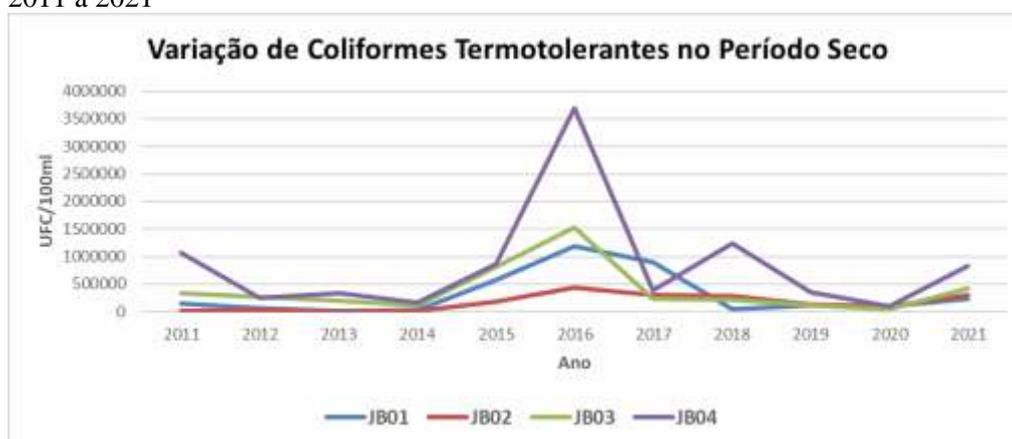
OS valores de coliformes, no período seco, atingem cerca de 3.700.000 UFC (Fig. 21), enquanto que no período chuvoso chegam até 1.300.000 UFC (Fig. 22), revelando que o período de estiagem, com menos diluição no rio é um fator de aumento de coliformes no Rio Jaguaribe.

O ano de 2016 apresentou densidades de coliformes excepcionalmente mais elevadas, seja no período seco seja no chuvoso, acompanhando o aumento da precipitação. Muitas fossas domésticas são vazadas, o que vai acumulando coliformes no solo, e com a lavagem pela chuva,

isso é carregado para o rio. De um modo geral, as concentrações de coliformes foram sempre mais elevadas em períodos chuvosos que em períodos de estiagem.

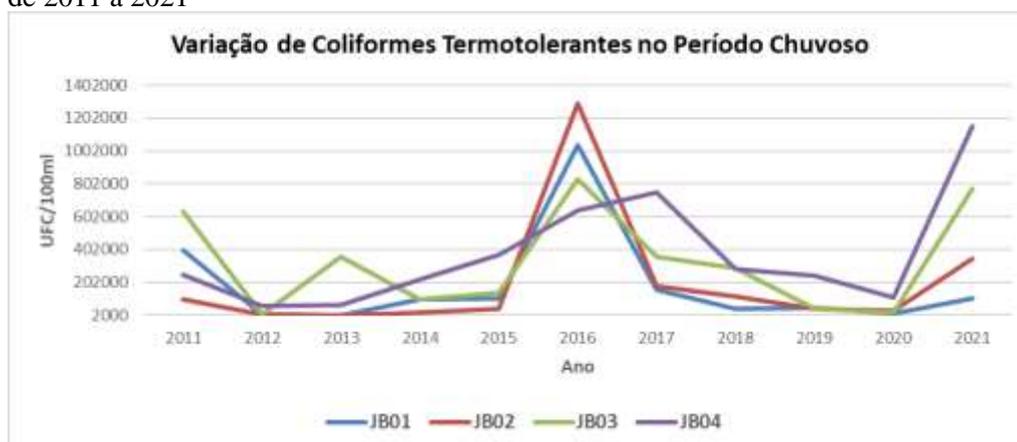
No ano de 2021 verificou-se uma maior diferença entre os pontos analisados, com as menores concentrações no JB01 e as maiores no JB04, demonstrando mais uma vez o efeito acumulador ao longo do rio, pela entrada permanente de esgotos ao longo do rio. Neste parâmetro não se verificou uma melhoria após a passagem pela UC Mata do Buraquinho, revelando que a presença de Mata Atlântica não reduz coliformes, da mesma forma que melhorou outros parâmetros citados anteriormente, revelando a necessidade de tratamento adequado de esgotos na sua origem, ou antes de adentrarem o rio.

Figura 21. Variação de CT no Período Seco nos trechos analisados do Rio Jaguaribe nos anos de 2011 a 2021



Fonte: Dados da Pesquisa, 2023.

Figura 22. Variação de CT no Período Chuvoso nos trechos analisados do Rio Jaguaribe nos anos de 2011 a 2021



Fonte: Dados da Pesquisa, 2023.

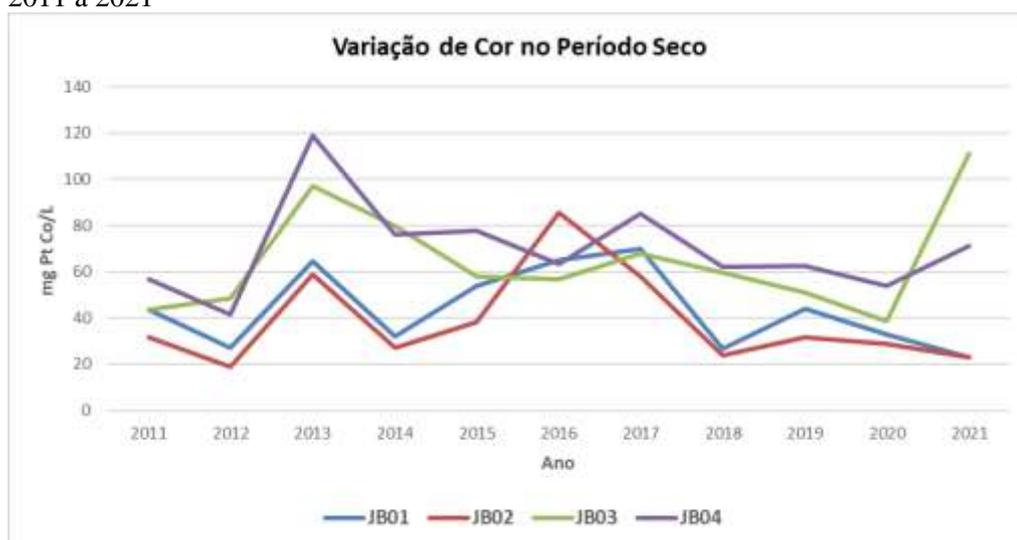
3.3.9 Cor

No período seco, os valores de cor estiveram entre a faixa de 20 a 100 mgPt.L⁻¹ e poucos valores acima do padrão foram obtidos, sendo eles JB03 em 2013, 2014 e 2021 e JB04 em 2013, 2014, 2015 e 2017 (Fig. 23), correspondendo a 27,27% e 36,36% dos resultados, respectivamente. 2013 apresentou um pico nos valores em JB03 e JB04 e em 2021 apresentou outro pico principalmente nos pontos JB03.

Já no período chuvoso os valores estiveram entre 40 e 100 mgPt.L⁻¹ e a variação de cor no JB01 se deu acima do permitido em 2011, 2012, 2013 e 2017, correspondendo a 36,36% dos resultados (Fig. 24). JB02 apresentou resultados inconformes em 2013 e 2017, com 18,18% dos resultados. JB03 mostrou resultados acima do valor em 2012, 2013, 2015 e 2017, com 36,36% dos resultados. JB04 com resultados acima do permitido em 2013, 2015, 2016, 2017 e 2018, correspondendo a 45,45%. No ano de 2014 não foi realizada análise de cor durante o período chuvoso. Em 2017 todos os pontos do período chuvoso apresentaram resultados acima do valor máximo permitido.

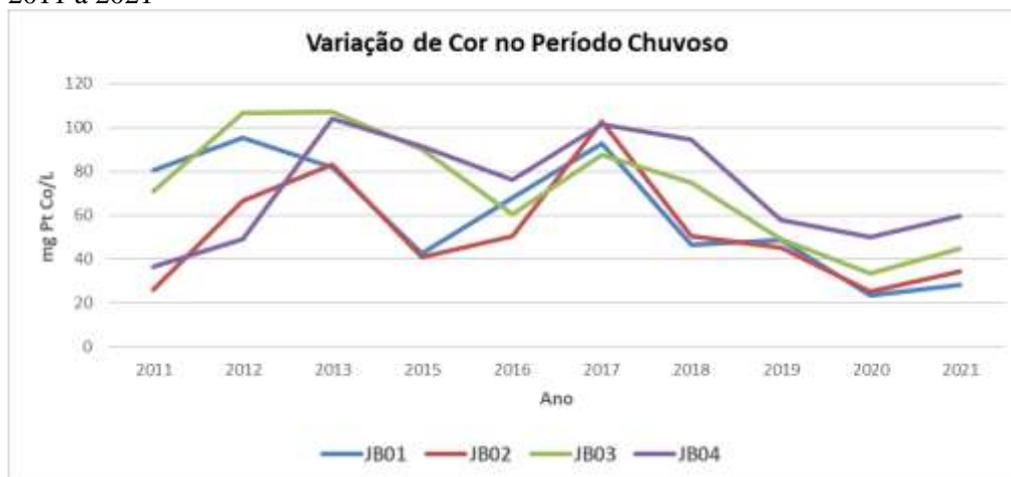
A partir dos resultados obtidos ficou constatado que os valores de cor apresentam variações elevadas entre os períodos seco e chuvoso, que é compreensível pela possível decantação de substâncias coloidais durante o período seco. Souza (2020) não realizou análises de cor para comparação ou discussão.

Figura 23. Variação de Cor no Período Seco nos trechos analisados do Rio Jaguaribe nos anos de 2011 a 2021



Fonte: Dados da Pesquisa, 2023.

Figura 24. Variação no Período Chuvoso nos trechos analisados do Rio Jaguaribe nos anos de 2011 a 2021

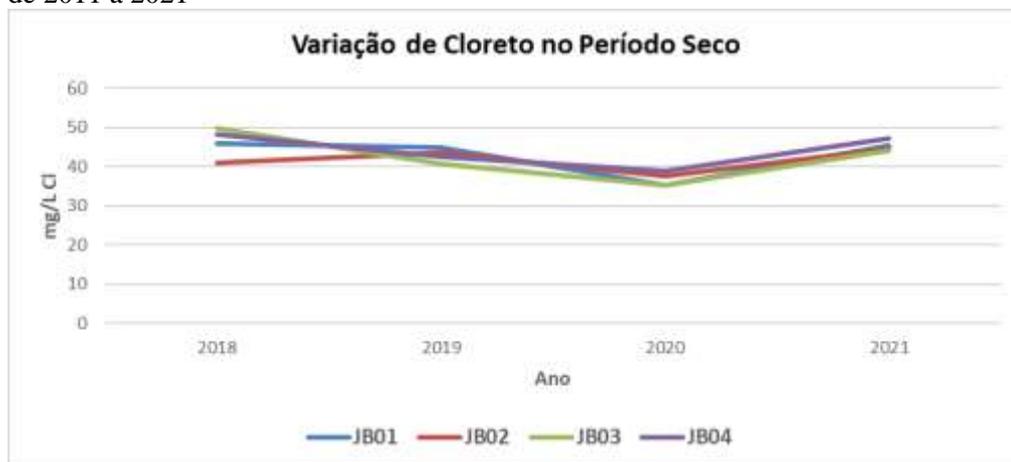


Fonte: Dados da Pesquisa, 2023.

3.3.10 Cloretos

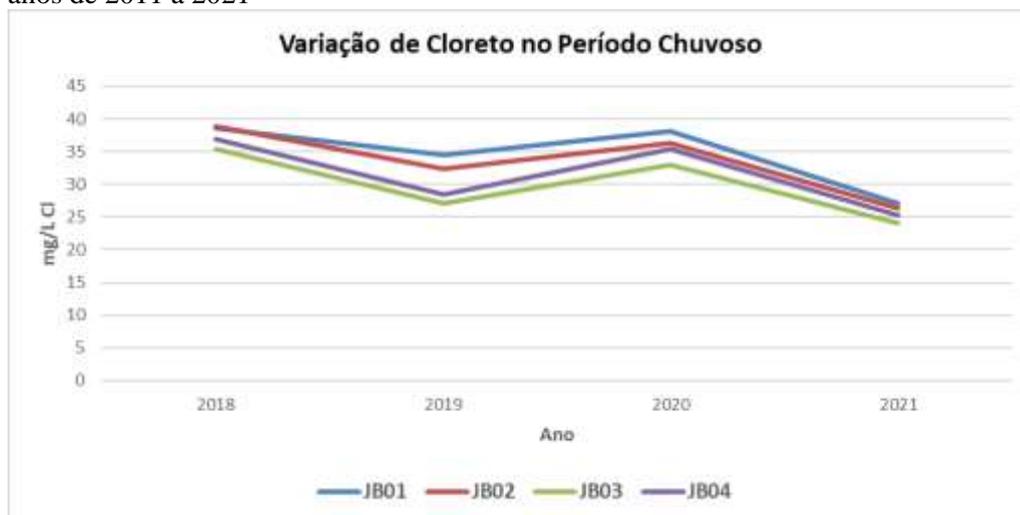
Analisando os resultados obtidos, verifica-se que os valores oscilaram entre 40 e 50 mgCl.L^{-1} (Fig. 25) no período seco e entre 25 e 40 mgCl.L^{-1} (Fig. 26), no período chuvoso, revelando a melhoria na qualidade da água com a chuva. Nenhuma amostra apresentou concentração acima do permitido.

Figura 25. Variação de Cloreto no Período Seco nos trechos analisados do Rio Jaguaribe nos anos de 2011 a 2021



Fonte: Dados da Pesquisa, 2023.

Figura 26. Variação de Cloreto no Período Chuvoso nos trechos analisados do Rio Jaguaribe nos anos de 2011 a 2021



Fonte: Dados da Pesquisa, 2023.

3.3.11 Alcalinidade

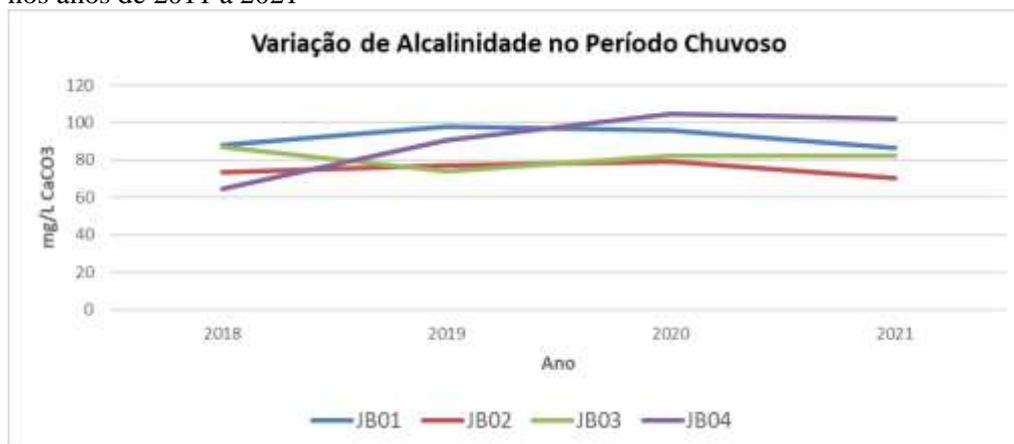
No período seco os valores variam entre 82 e 152 mg.L⁻¹ de CaCO₃ (Fig 27) e no período chuvoso entre 64,7 e 104,76 mg.L⁻¹ de CaCO₃ (Fig. 28), como observado nos gráficos abaixo. O ponto JB04 apresentou os valores menos elevados para este parâmetro revelando melhores condições ambientais.

Figura 27. Variação de Alcalinidade no Período Seco nos trechos analisados do Rio Jaguaribe nos anos de 2011 a 2021



Fonte: Dados da Pesquisa, 2023.

Figura 28. Variação de Alcalinidade no Período Chuvoso nos trechos analisados do Rio Jaguaribe nos anos de 2011 a 2021

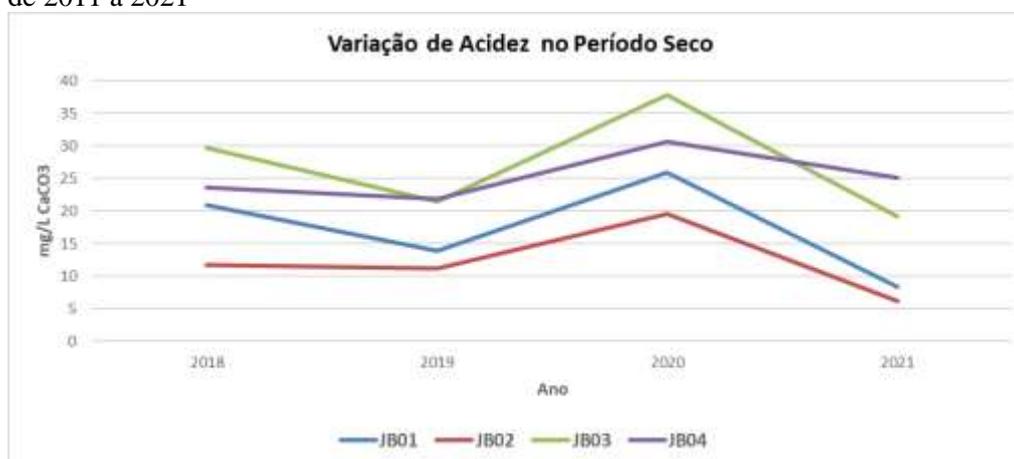


Fonte: Dados da Pesquisa, 2023.

3.3.12 Acidez

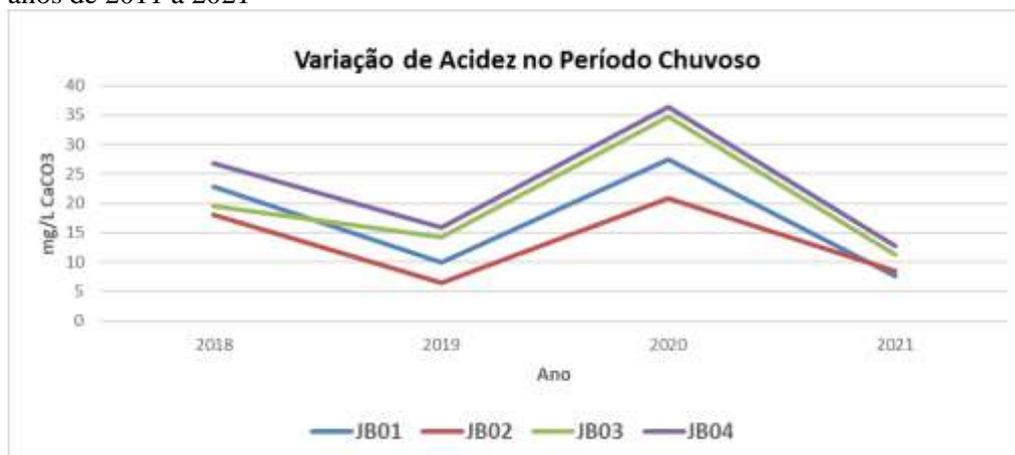
Os resultados obtidos apresentam variação entre os anos de 2019 e 2020 em ambos os períodos, com um aumento em 2020 e uma redução em 2021 (Figs 29 e 30) Mais uma vez o ponto JB02 foi o que apresentou menores valores para a acidez, revelando melhor qualidade ambiental, ao mesmo tempo em que se verifica um aumento gradual em direção à foz.

Figura 29. Variação de Acidez no Período Seco nos trechos analisados do Rio Jaguaribe nos anos de 2011 a 2021



Fonte: Dados da Pesquisa, 2023.

Figura 30. Variação de Acidez no Período Chuvoso nos trechos analisados do Rio Jaguaribe nos anos de 2011 a 2021



Fonte: Dados da Pesquisa, 2023.

3.3.13 Dureza Total

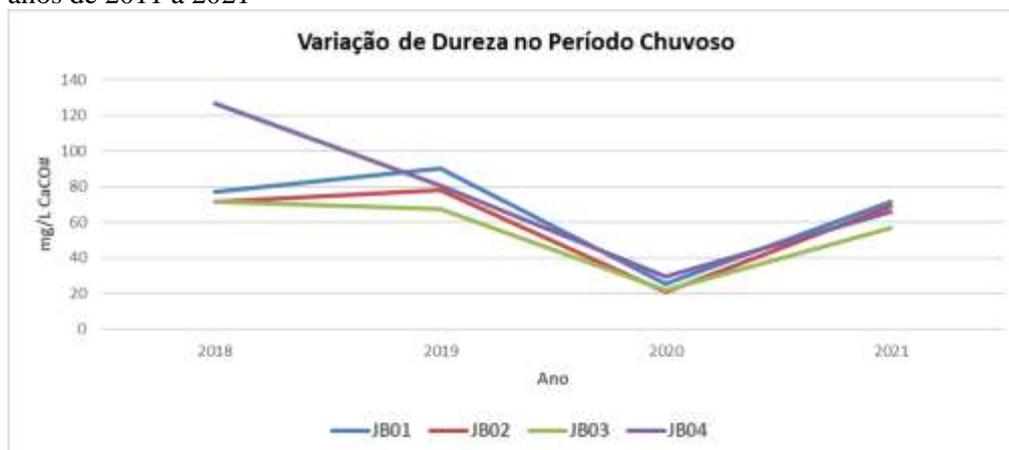
As concentrações obtidas variam por período e apresentam queda no ano de 2020 em ambos os períodos. Durante o período chuvoso as concentrações não ultrapassaram $140 \text{ mg.L}^{-1} \text{ CaCO}_3$, enquanto no período seco variam até valores acima de $500 \text{ mg.L}^{-1} \text{ CaCO}_3$, que é compreensível a maior concentração de tais sais em períodos secos e a diluição de tais no período chuvoso. No entanto a redução destes valores a partir de 2018 até 2020, pode ser a resposta ao aumento de precipitação nesses anos. Já o aumento no período chuvoso de 2021 pode estar relacionado com a redução de chuva nesse ano.

Figura 31. Variação de Dureza no Período Seco nos trechos analisados do Rio Jaguaribe nos anos de 2011 a 2021



Fonte: Dados da Pesquisa, 2023.

Figura 32. Variação de Dureza no Período Chuvoso nos trechos analisados do Rio Jaguaribe nos anos de 2011 a 2021



Fonte: Dados da Pesquisa, 2023.

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos a partir dos valores das análises disponibilizados pela SUDEMA possibilitam um diagnóstico histórico quanto à qualidade da água do Rio Jaguaribe em 4 pontos ao longo da cidade de João Pessoa. Neste diagnóstico foi possível identificar que dos parâmetros analisados alguns apresentam conformidade com a Resolução CONAMA 357/05 que foi utilizada como padrão nesta pesquisa, entre eles os sólidos totais dissolvidos e os cloretos, no entanto, outros apresentaram alguns anos em desconformidade ou alguns pontos, como a cor. A DBO apresentou maior parte dos anos em conformidade no ponto JB02, mas todos os outros em desconformidade e os parâmetros Oxigênio Dissolvido e Coliformes Termotolerantes estiveram completamente em desconformidade com a Resolução vigente, com valores muito além dos limites da Resolução, descaracterizando completamente o rio como ambiente ecossistêmico.

Dentre os principais parâmetros que classificam o tipo de contaminação presente no Rio Jaguaribe se destacam os Coliformes Termotolerantes, indicadores de contaminação fecal recente, que apresentam alta densidades de bactérias em todos os anos e períodos analisados. Este parâmetro analisado de forma conjunta com os resultados de Oxigênio Dissolvido e Demanda Bioquímica de Oxigênio indicam tal poluição recorrente por efluentes domésticos ao longo do rio. Outros parâmetros analisados de forma conjunta como Condutividade Elétrica e Sólidos Dissolvidos Totais também leva a conclusão da contaminação por efluentes no Rio Jaguaribe. Através dos resultados obtidos e do diagnóstico realizado, foi possível identificar que o Rio Jaguaribe vem recebendo ao longo dos anos altas cargas de poluentes fecais em seu leito, o tornando impróprio em

todos os trechos analisados para quaisquer usos citados na Resolução CONAMA Nº 357/05 como padrão para levantamento do diagnóstico. Foi confirmado que o rio não se apresenta de acordo com a classificação recebida, o que requer ações humanas para que se enquadre em Classe II e III novamente.

Falar sobre a legislação, pra melhorar, modificar

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para a continuidade deste trabalho é sugerido que sejam aplicadas medidas, como o tratamento adequado do esgoto, o pode ser feito a baixo custo com fossas ecológicas e TEWetlands, para erradicar tal impacto que o rio enfrenta, a fim de recuperar esse ambiente aquático junto com seus serviços ecossistêmicos de extrema importância para drenagem da cidade de João Pessoa. Outras ações são necessárias, como a despoluição no próprio rio, o que pode ser com sistemas de biorremediação, usando o biofilme como biorremediador.

REFERÊNCIAS

AESA. **Proposta De Instituição Do Comitê Da Bacia Hidrográfica Do Rio Paraíba**. João Pessoa, 2004. Disponível em: <chromeextension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/wp-content/uploads/2017/06/Proposta-de-Cria%C3%A7%C3%A3o-do-Comit%C3%AA-do-Rio-Para%C3%ADba.pdf>. Acesso em: 10 set. 2022.

AESA. **ENQUADRAMENTO DOS CORPOS D'ÁGUA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO LITORAL E ZONA DA MATA**. João Pessoa, 1988. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/documentos/enquadramento/>. Acesso em: 10 maio 2023.

ANA. AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS. BRANDÃO, C. J. (Org.). **Guia Nacional De Coleta E Preservação De Amostras: Água, Sedimento, Comunidades Aquáticas E Efluentes Líquidos**. 2. ed. Brasília: ANA, 2011. 327 p.

ARAÚJO, G. H. S.; ALMEIDA, J. R.; GUERRA, A. J. T. **Gestão ambiental de áreas degradadas**. Rio de Janeiro: Bertreand Brasil, 2005. p. 17-112.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº. 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e dá outras providências, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Brasília. Publicada no D.O.U. de 18 de março de 2005. 2005.

CARVALHO, R. A; OLIVEIRA, M. C. V. **Princípios Básicos de Saneamento do Meio**. São Paulo: Editora SENAC. 3. ed, 2003.

CETESB. **Relatório de Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 2018.

DIAS, T. A. **AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO TRECHO DO RIO PIANCÓ NA BACIA HIDROGRÁFICA PIANCÓ-PIRANHAS AÇU**. Orientador: Dra Andrea Lopes de Oliveira Ferreira. 2021. Dissertação (Mestre e, Engenharia Química) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB, 2021.

DIEB, M. A. **Cerzindo Rios e Cidades**. 2013. 289f. Tese (Doutorado em Urbanismo) Programa de Pós-Graduação em Urbanismo, Universidade federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2013.

GABINETE DO MINISTRO (Brasil). Ministério da Saúde. **PORTARIA GM/MS Nº 888, DE 4 DE MAIO DE 2021**. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. [S. l.], 2021. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html. Acesso em: 23 mar. 2023.

LEMOS,S. Jornal da USP. Disponível em < <https://jornal.usp.br/atualidades/dados-da-onumostrom-que-15-mil-pessoas-morrem-anualmente-por-doencas-ligadas-a-falta-desaneamento/>> Acesso em: 30 de maio de 2022.

REIS, A. L. Q. **Índice de sustentabilidade em uma bacia ambiental: uma abordagem para a gestão e planejamento da conservação e preservação dos rios urbanos de João Pessoa (PB)**. 2016. 260 p. Tese (Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB, 2016.

RIBEIRO, E. V. **Avaliação da qualidade da água do Rio São Francisco no segmento entre Três Marias e Pirapora – MG: Metais Pesados e atividades antropogênicas**. 2010. 196f. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG.

ROSSI, W.; BRANCO, L.C.; LACERDA, J.A.; GOMES, A.C.; WAGNER, E.M.S. Fontes de Poluição e o Controle da Degradação Ambiental dos Rios Urbanos em Salvador. RIGS - **Revista interdisciplinar de gestão social** (Online), 1(1): 61 – 74, 2015.

SOUZA, A. H. F. F. de. **Avaliação da eficiência da biorremediação por perifíton em um rio urbano**. Orientador: Maria Cristina Basílio Crispim da Silva. 2020. 198 f. Tese (Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB, 2020.

SPERLING, M. V. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005

4 CAPÍTULO 2: AVALIAÇÃO DO BIOTRATAMENTO POR BIOFILME EM TRECHO DO RIO JAGUARIBE NAS DEPENDÊNCIAS DO JARDIM BOTÂNICO

RESUMO

O diagnóstico dos últimos 10 anos de análises físicas, químicas e microbiológicas do Rio Jaguaribe apontam que a contaminação é gerada pelo despejo de efluentes domésticos no leito do rio com alta carga orgânica fazendo com que o rio não consiga realizar a autodepuração e de reestabelecer a sua qualidade. Baixos valores de oxigênio dissolvido e altas concentrações de coliformes termotolerantes e demanda bioquímica de oxigênio constataam que os efluentes não recebem nenhum tratamento antes de serem lançados no corpo hídrico responsável pela drenagem de 32 dos 64 bairros de João Pessoa. Tal contaminação acarreta na incidência de doenças de veiculação hídrica e impossibilita a destinação da água para os usos estabelecidos pela legislação vigente. A partir disso este capítulo apresenta o objetivo de realizar um biotratamento a partir da inserção de substratos para fixação do biofilme aquático. Este método apresentou melhorias significativas no aumento de oxigênio dissolvido e remoção de alguns nutrientes fosfatados e nitrogenados em outros rios urbanos da cidade e em efluentes *in natura*. O método não apresentou em nenhuma das pesquisas avaliação quanto à melhora da qualidade da água com relação aos parâmetros de Demanda Bioquímica de Oxigênio e de Coliformes Termotolerantes e evidenciar tal eficiência também é um objetivo deste tópico, sendo um aspecto inovador da pesquisa. Foi utilizada a metodologia de adesão do biofilme aquático em substratos com cortinas de polietileno. O trecho de intervenção situa-se na Unidade de Conservação do Jardim Botânico Benjamim Maranhão. Foram analisados os parâmetros de Demanda Bioquímica de Oxigênio, Demanda Química de Oxigênio, Coliformes Termotolerantes, Amônia, Nitrito, Nitrato e Fósforo Total. Todos os resultados obtidos passaram por análise estatística seguindo o Teste-t pareado, utilizando o alfa < 0,05 para determinação da significância de cada parâmetro comparando antes e após tratamento, sendo um ponto de coleta a montante da estrutura de biotratamento e outro a jusante. Com a intervenção foi possível evidenciar a diminuição de nutrientes como Nitrito, Nitrato e Fósforo Total. A hipótese levantada pode ser respondida, apontando que o biotratamento utilizado é eficiente para melhora da qualidade da água, no entanto parâmetros como coliformes totais não foram reduzidos

Palavras chave: Biotratamento; Biofilme Aquático; Gestão de Recursos Hídricos; Gestão Ambiental.

ABSTRACT

The diagnosis of the last 10 years of physical, chemical and microbiological analyzes of the Jaguaribe River indicate that the contamination is generated by the discharge of domestic effluents into the river bed with a high organic load, making the river unable to carry out self-purification and to re-establish its quality. Low values of dissolved oxygen and high concentrations of thermotolerant coliforms and biochemical oxygen demand show that the effluents do not receive any treatment before being released into the water body responsible for the drainage of 32 of the 64 districts of João Pessoa. Such contamination leads to the incidence of waterborne diseases and makes it impossible to allocate water for uses established by current legislation. From this, this chapter presents the objective of carrying out a biotreatment from the insertion of substrates for the fixation of the aquatic biofilm. This method, which showed significant improvements in the increase of dissolved oxygen and removal of some phosphate and nitrogen nutrients in other urban rivers of the city and in effluents in natura. The method did not present in any of the researches the evaluation regarding the improvement of the water quality in relation to the parameters of Biochemical Oxygen Demand and of Thermotolerant Coliforms and to evidence such efficiency is also an objective of this topic, being an innovative aspect of the research. The aquatic biofilm adhesion methodology on substrates with polyethylene curtains was used. The intervention stretch is located in the Conservation Unit of Jardim Botânico Benjamin Maranhão. The parameters of Biochemical Oxygen Demand, Chemical Oxygen Demand, Thermotolerant Coliforms, Ammonia, Nitrite, Nitrate and Total Phosphorus were analyzed. All results obtained underwent statistical analysis following the paired t-test, using $\alpha < 0.05$ to determine the significance of each parameter comparing before and after treatment, with a collection point upstream of the biotreatment structure and another downstream. With the intervention it was possible to show the decrease of nutrients such as Nitrite, Nitrate and Total Phosphorus. So the hypothesis raised can be answered, pointing out that the biotreatment used is efficient to improve the water quality, however parameters such as total coliforms were not reduced.

Keywords: Biotreatment; Aquatic Biofilm; Water Resources Management; Environmental management.

4.1 INTRODUÇÃO

A partir do diagnóstico decenal do Rio Jaguaribe foi possível identificar que tal curso hídrico sofre ao longo dos anos impactos antrópicos que degradam a sua qualidade, impossibilitando que o mesmo seja destinado a usos como contato primário, pesca e consumo humano. Os rios apresentam métodos naturais de restauração da qualidade, destacando a autodepuração, que em pleno funcionamento consegue degradar os poluentes recebidos ao longo de seu leito. Durante o processo de autodepuração, o contaminante biodegradável é assimilado por microrganismos que o decompõem até biodegradar quase por total a matéria orgânica. Este processo apresenta as etapas de decomposição da matéria orgânica e posteriormente o restabelecimento do oxigênio dissolvido. Porém, devida a altas taxas de despejo de efluentes líquidos ao longo de todo o rio, o processo de autodepuração não é o suficiente para reestabelecer a qualidade da água do Rio Jaguaribe, se fazendo necessário intervenções humanas para atingir tal finalidade.

Sendo assim, este capítulo objetiva aplicar o biotratamento por biofilme aquático e identificar se surte efeito na melhoria da qualidade de água e na balneabilidade do corpo hídrico, a fim de possibilitar contato primário seguro nas dependências do Jardim Botânico Benjamim Maranhão. Os objetivos específicos abrangem desde a realização do diagnóstico da qualidade da água do Rio Jaguaribe, a instalação de módulos de substratos artificiais para adesão de biofilme e análise de qualidade de água antes e após a intervenção, nas dependências da Unidade de Conservação do Jardim Botânico Benjamim Maranhão.

A hipótese de pesquisa que é testada com esta pesquisa é que com o biotratamento com o aumento do biofilme é eficaz na melhoria da qualidade de água e redução de coliformes, podendo torná-la com qualidade balnear.

A metodologia utilizada foi descrita pelos pesquisadores Souza, Marinho e Crispim (2020; 2018; 2019) e apresentaram impactos positivos e significantes na melhoria da qualidade da água de rios urbanos e de efluentes. Foram utilizados para desenvolvimento deste capítulo métodos de coleta descrito no Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras, *Standard Methods* 23th para as análises realizadas, DZS 205 para o enquadramento dos cursos do rio e a Resolução CONAMA 357/05 para comparação dos valores máximos permitidos para a classe e usos do Rio Jaguaribe, além de análises estatísticas, usando o teste de Shapiro para verificar se os dados eram normais

e a análise Teste-t para definir a significância entre os valores obtidos nas análises antes e após a realização do biotratamento.

4.2 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados para desenvolvimento deste capítulo métodos de coleta descrito no Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras¹², *Standard Methods* 23th¹³, DZS 205¹⁴, Resolução CONAMA 274/00¹⁵ e Resolução CONAMA 357/05¹⁶, além do método estatístico Teste-t¹⁷.

4.2.1 Área de Pesquisa

A pesquisa deu-se no trecho do Rio Jaguaribe na dependência do Jardim Botânico Benjamim Maranhão (JBBM) (Fig. 33) para que o objetivo central de avaliar os impactos do biotratamento testado. Sendo assim foram definidos 2 pontos de fácil acesso ao rio, sendo um a montante e outro a jusante dos módulos instalados, possibilitando a identificação da eficiência do tratamento adotado.

As estruturas foram fixadas sob as coordenadas geográficas S7°8'11", W34°51'39". Segundo a DZS 205 (AESAs, 1988) todos estes pontos de amostragem no interior do Jardim Botânico estão enquadrados na Classe II, tendo padrões expostos na Resolução CONAMA 357/05 e seus usos de acordo com o seu enquadramento pode ser para abastecimento humano, após tratamento, proteção das comunidades aquáticas; recreação de contato primário conforme a balneabilidade com padrões dispostos na Resolução CONAMA 274/00, a irrigação de lugares que possam ter contato primário, como praças e parque, e para atividades de aquicultura e pesca.

¹² ANA/CETESB – Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras, 2011.

¹³ APHA – *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 23th Edition, 2017

¹⁴ AESA. ENQUADRAMENTO DOS CORPOS D'ÁGUA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO LITORAL E ZONA DA MATA. João Pessoa, 1988.

¹⁵ BRASIL. Resolução CONAMA nº 274, de 29 de novembro de 2000.

¹⁶ BRASIL. Resolução CONAMA nº. 357, de 17 de março de 2005

¹⁷ Teste-t de Student para médias pareadas, através do software livre Excel.

Figura 33. Ponto de intervenção no Rio Jaguaribe no trecho dentro do Jardim Botânico Benjamim Maranhão



Fonte: Autora, 2022.

4.2.2 Métodos de Intervenção

O método utilizado serve para atender o objetivo de ser inserido substratos artificiais para adesão do biofilme aquático, conforme metodologia de Crispim et al. (2009, 2019). Para o ponto de intervenção foram construídos dois módulos para adesão do biofilme aquático por cortinas de polietileno. Cada módulo foi feito utilizando ripas com garrafas pet amarradas servindo como flutuadores, plástico cristal de 0,15mm, cordões de seda de 8mm e britas para servirem de contrapeso nas cortinas. Os módulos foram confeccionados medindo 4 m x 2 m com a finalidade de funcionar como flutuadores e manter as estruturas fixas no ambiente. Cada quadrado flutuador continha treze cortinas com espaço de 30 cm entre elas. Foram feitas duas costuras por cortina, uma com 5 cm na parte superior a) para passar a corda que a fixa na estrutura flutuante e uma na parte inferior, com 10 cm b) para que fosse adicionadas pequenas pedras que serviram de contrapeso para manter as cortinas retas da superfície ao fundo do rio, mantendo toda superfície de contato do plástico livre para adesão do biofilme (Fig. 34).

Figura 34. Detalhes dos módulos de biotratamento colocados no Rio Jaguaribe no trecho dentro do Jardim Botânico Benjamim Maranhão



Fonte: Autora, 2022.

Cada cortina plástica possuía dimensões de 50 cm x 2 m equivalendo a 2 m² de área disponível para adesão do substrato considerando os dois lados da cortina, totalizando os dois módulos uma área total de 52 m² para fixação do biofilme aquático (Fig. 35).

Figura 35. Área de adesão do biofilme aquático colocada no Rio Jaguaribe no trecho dentro do Jardim Botânico Benjamim Maranhão



Fonte: Autora, 2022.

As estruturas foram coladas no rio no dia 14 de junho de 2023, fixadas por cordas na vegetação ciliar presente, e submersas de forma que as cortinas não atrapalhassem a correnteza do rio, tendo os espaços entre elas no sentido da correnteza do rio (Fig. 36).

Figura 36. Estruturas submersas colocados no Rio Jaguaribe no trecho dentro do Jardim Botânico Benjamim Maranhão



Fonte: Autora, 2022.

Segundo a metodologia de Crispim et al. (2019) o substrato necessita ficar no ambiente no mínimo 15 dias para adesão do biofilme aquático. A partir desse período foram realizadas as coletas para a análise do após a instalação do biotratamento.

4.2.3 Parâmetros Analisados

Para a elaboração deste capítulo de estudo, foram analisados ao todo sete parâmetros. Salienta-se que os parâmetros de Demanda Química e Bioquímica de Oxigênio foram realizados no laboratório da Empresa de Análise de Água CONSTA e os demais no laboratório da SUDEMA, ambos em parceria com o desenvolvimento desta pesquisa, que seguem a metodologia descrita no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23th Edition* (APHA, 2017). Sendo assim, serão descritos a seguir os parâmetros de Demanda Química de Oxigênio, Fósforo Total, Amônia, Nitrito e Nitrato, os parâmetros de Demanda Bioquímica de Oxigênio e Coliformes Termotolerantes já foi evidenciado no capítulo anterior desta dissertação.

4.2.3.1 Demanda Química de Oxigênio – DQO

É o parâmetro indispensável nos estudos de caracterização de efluentes sanitários e de efluentes industriais. Representa a quantidade de OD consumido em meio ácido que

leva à degradação de matéria orgânica, por meio de um agente químico oxidante forte. A DQO é o único parâmetro utilizado para medir a quantidade de resíduos industriais na água, que não pode ser medido pela DBO. É aplicado tanto na determinação da carga orgânica em estações de tratamento como na avaliação da eficiência do processo de tratamento a fim de obter os níveis de poluição inorgânica nos recursos hídricos. O parâmetro foi realizado por refluxo fechado seguindo o método 5220 C no *Standard Methods 23th* (APHA, 2017).

4.2.3.2 Fósforo Total (P – Total)

É o parâmetro que representa a soma de todos os fósforos presentes no meio aquático, sendo ortofosfato, fosfatos condensados e orgânicos. A sua presença no ambiente em excesso não ocorre de forma natural e indica presença de efluentes contendo esgotos, detergentes, pesticidas ou fertilizantes. Sendo assim, elevados níveis deste composto ocasiona um impacto negativo significativo no ecossistema, acelerando o crescimento das plantas, podendo levar o ambiente aquático à eutrofização e contribuindo com o surgimento de algas e plantas aquáticas, por conseguinte privando os organismos aquáticos presentes do oxigênio dissolvido, resultando em desequilíbrio e mortalidade de peixes. Para determinação das concentrações deste parâmetro foi utilizado o kit *Merck* para *Spectroquant*.

4.2.3.3 Amônia (NH₃-)

A amônia é um gás incolor alcalino, solúvel em águas com pH ácidos, apresenta odor detectável e característico. Provoca irritação ocular e nasal a partir de concentrações de 50 mg.L⁻¹, disfunção pulmonar a 1000 mg.L⁻¹ e apresenta risco de morte após exposição a concentrações acima de 1500 mg.L⁻¹ (CETESB, 2019). A amônia pode estar presente no ambiente aquático de forma natural através da decomposição da matéria orgânica e suas concentrações podem ser alteradas de acordo com o aumento de parâmetros como pH e temperatura, potencializando seu efeito tóxico no meio. Em altas concentrações no ambiente aquático o parâmetro pode indicar a presença de lançamento indevido de efluentes domésticos. Para determinação das concentrações deste parâmetro foi utilizado o kit *Merck* para *Spectroquant*.

4.2.3.4 Nitrito (NO₂-)

É um parâmetro resultante da redução de amônia em nitrito, chamado de nitrosação, e apresenta características tóxicas para a saúde humana quando ingerido em concentrações acima de 1 mg.L⁻¹, segundo a Resolução CONAMA 357/05. Sendo assim, a sua presença é um indicativo de contaminação recente, procedente de material orgânico e pode ser tóxico para os peixes (SOUZA, 2020). Para determinação das concentrações deste parâmetro foi utilizado o kit *Merck* para *Spectroquant*.

4.2.3.5 Nitrato (NO₃-)

O nitrato é resultado da oxidação do nitrito. É um nutriente essencial para as plantas, mas quando em altas concentrações no meio aquático ocasiona problemas significativos, principalmente quando em conjunto com outros nutrientes como o fósforo, por exemplo, que podem modificar o estado trófico do meio e proporcionar a eutrofização de ambientes aquáticos. A sua presença no ambiente aquático ocorre em excesso de forma não natural, podendo ser proveniente de fertilizantes lixiviados ou de efluentes. Para determinação das concentrações deste parâmetro foi utilizado o kit *Merck* para *Spectroquant*.

4.2.4 Tratamento Estatístico

O tratamento estatístico realizado seguirá como o descrito por Souza (2020), que testou a mesma metodologia de biorremediação em rios urbanos, seguindo a metodologia do Teste-t, realizado no software livre R. Para definir a significância entre as médias antes e depois da intervenção por biofilme aquático será utilizado o nível de significância em 5% (0,05) para verificar a eficiência da hipótese alternativa de que o biotratamento apresenta eficiência e melhoria na qualidade da água do Rio Jaguaribe.

Foi utilizado o tipo de teste para amostras pareadas e através do resultado de P obtido na análise dos dados a partir do teste – t pareado (sendo P<0,05) será aceita a hipótese alternativa como verdadeira e identificado eficiência no biotratamento.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

No decorrer do desenvolvimento das pesquisas alguns contratemplos aconteceram. A nível de parcerias, no meio da execução da intervenção utilizando as pedras a Prefeitura Municipal de João Pessoa rompeu com a parceria, após as pedras terem sido deixadas

pela Usina de Beneficiamento de Resíduos Sólidos nos locais de inserção, para serem usadas como substratos, sendo a sua colocação realizada por conta própria. No entanto, esta parte da pesquisa foi desprezada, porque após a instalação das pedras houve chuvas fortes na região que soterraram as mesmas, impedindo que servissem de substrato para o biofilme. Na parceria com a SUDEMA, foram interrompidas algumas análises como DBO, DQO, Oxigênio Dissolvido, Condutividade e Temperatura, devido à reforma que aconteceu no laboratório que impossibilitou o uso dos equipamentos necessários para realização destes parâmetros. Para compensação se fez uma parceria com a Empresa CONSTA.

Dessa forma, foi realizado novo biotratamento, desta vez com a inserção dos módulos de biorremediação com cortinas de plástico, para evitar novo soterramento do substrato. As análises de qualidade da água foram realizadas e aplicação teste estatístico com Teste-t, para avaliar a eficácia do método na redução de poluentes presentes na água. Foi gerada uma tabela com os resultados de p para identificação da eficiência do biotratamento (Tabela 3).

Tabela 3. Resultados Estatísticos do Teste-t de *Sudent*.

	Data de Coleta	Coliformes	DBO	DQO	Amônia	Nitrito	Nitrato	Fósforo Total
PRÉ	27/06/2023	0,2463	0,001187	0,006284	0,03775	0,924	0,4639	0,3646
	29/06/2023	0,9284	0,0102	0,0184	0,4226	0,7892	0,4226	0,6797
	04/07/2023	0,03429	0,0004939	0,002011	0,0782	0,9175	0,3206	0,9272
PÓS	03/08/2023	0,9597	0,002087	0,0001629	0,8547	0,001552	0,3904	0,04952
	04/08/2023	0,0642	0,0001982	0,0002366	0,03701	0,2837	0,5833	0,267
	08/08/2023	0,005414	0,1489	0,002207	0,2177	0,08482	0,00264	0,5759

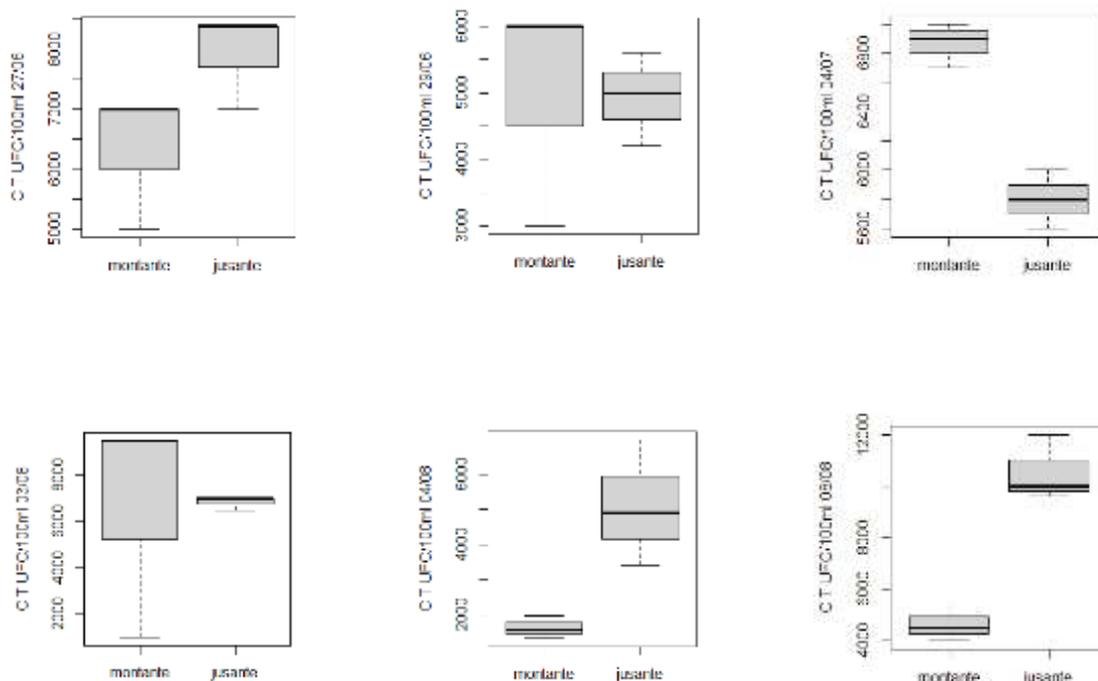
Fonte: Dados da Pesquisa, 2023.

A partir do teste realizado foi possível identificar o comportamento dos resultados, comparando montante com jusante a fim de identificar a significância da intervenção nos parâmetros analisados.

Os resultados de Coliformes Termotolerantes apresentaram significância na comparação nos dias 04/07/2023, antes da inserção do biotratamento, com redução de coliformes e no dia 08/08/2023, após o biotratamento (Fig, 37). Porém, a partir dos gráficos gerados pela comparação foi possível identificar que o comportamento relacionado com a variação da densidade de coliformes não foi influenciada pelo método de biorremediação empregado, visto que antes da intervenção havia redução ou aumento de coliformes entre os pontos montante e jusante. Após a intervenção, a diferença

significativa foi no sentido de aumentar a quantidade de coliformes de montante para jusante, o que pode ser o resultado da melhor qualidade ambiental, proporcionada pela biorremediação.

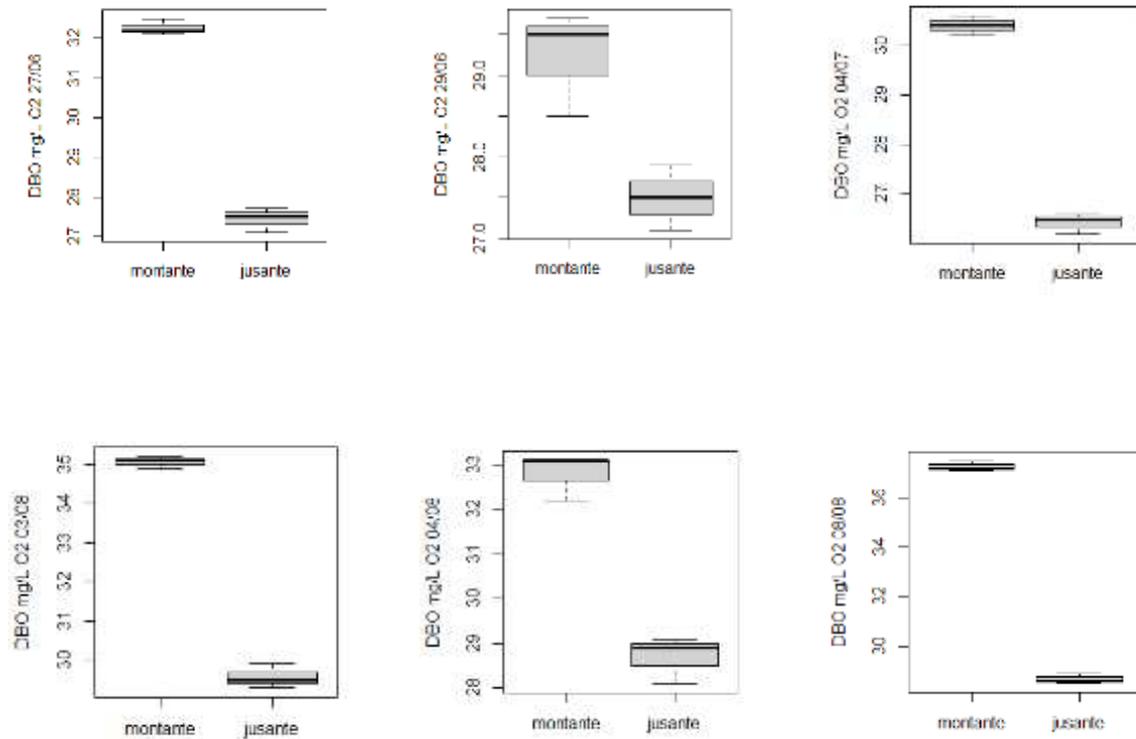
Figura 37. Gráficos de Coliformes Termotolerantes analisados a montante e jusante do sistema de biorremediação com biofilme, instalado no Rio Jaguaribe dentro do Jardim Botânico Benjamim Maranhão



Fonte: Dados da pesquisa, 2023.

O parâmetro de DBO não foi evidenciado por Souza (2020), mas apresentou diferença significativa em 5/6 das comparações nos pontos analisados desta pesquisa, que aponta que o trecho evidenciado apresenta boa depuração, antes e após a instalação do sistema de biotratamento (Fig. 38).

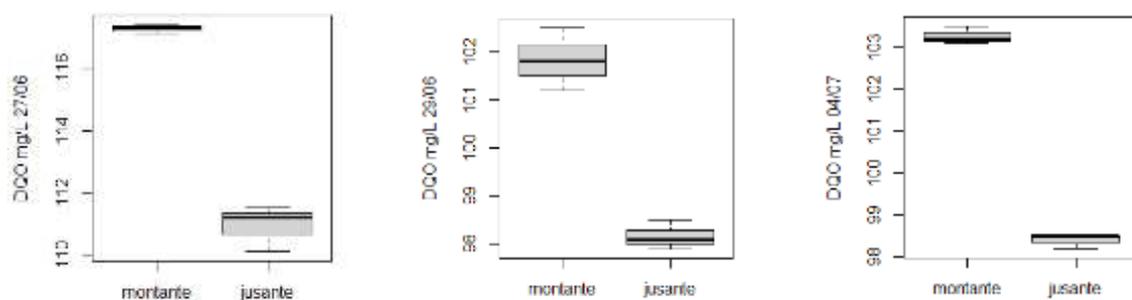
Figura 38. Gráficos de DBO analisados a montante e jusante do sistema de biorremediação com biofilme, instalado no Rio Jaguaribe dentro do Jardim Botânico Benjamim Maranhão

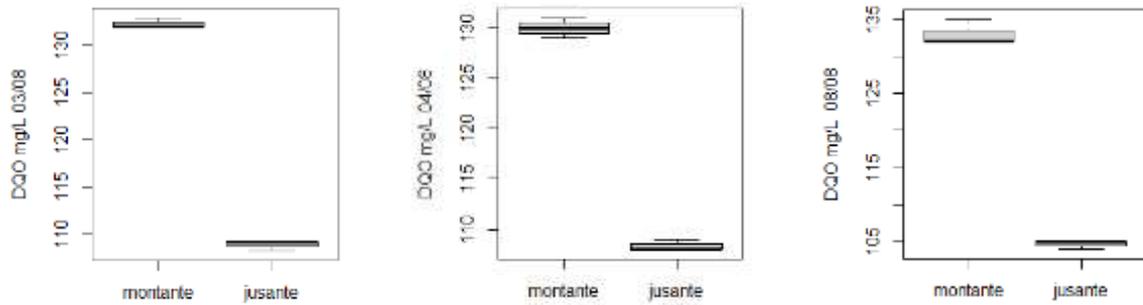


Fonte: Dados da Pesquisa, 2023.

O parâmetro de DQO apresentou significância em todas as comparações realizadas (Fig. 39), com valores de p menores, ou seja, maior a diferença após a aplicação do tratamento.

Figura 39. Gráficos de DQO analisados a montante e jusante do sistema de biorremediação com biofilme, instalado no Rio Jaguaribe dentro do Jardim Botânico Benjamin Maranhão

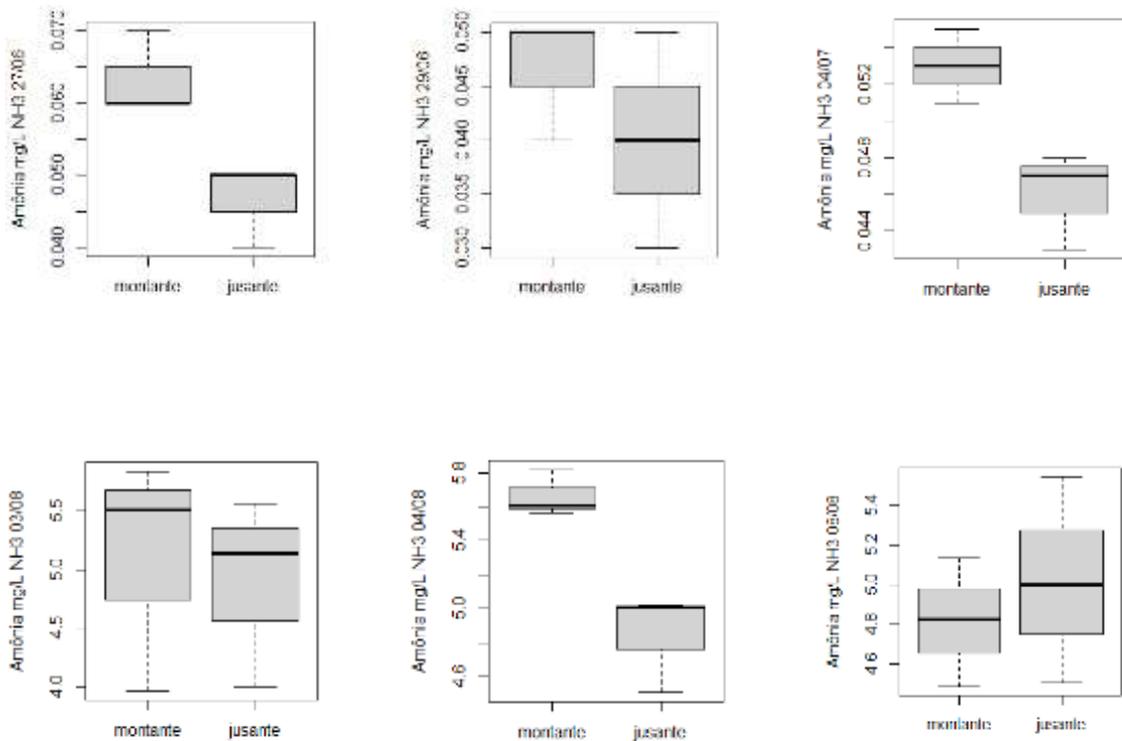




Fonte: Dados da Pesquisa, 2023.

Altas concentrações de Amônia indicam relação com a composição da matéria orgânica devido ao processo de decomposição, indicando contaminação por efluentes doméstico. Os valores de Amônia apresentaram significância em apenas duas comparações, sendo uma antes da intervenção e outra após, evidenciando que a dinâmica do trecho avaliado já apresenta redução deste nutriente mesmo sem intervenção (Fig. 40).

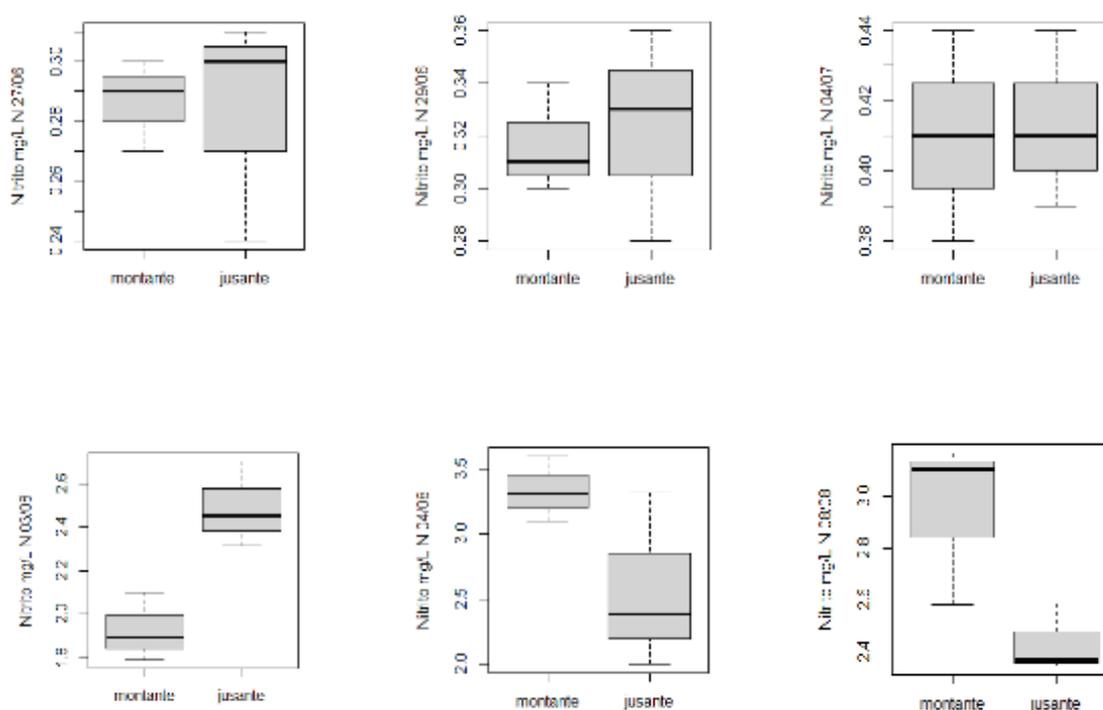
Figura 40. Gráficos de Amônia analisados a montante e jusante do sistema de biorremediação com biofilme, instalado no Rio Jaguaribe dentro do Jardim Botânico Benjamin Maranhão



Fonte: Dados da Pesquisa, 2023.

O nitrito apresentou diminuição nas concentrações após a intervenção (Fig. 41), com diferença significativa apenas no dia 03/08/2023. Só se registrou diferença significativa após a instalação do sistema de biorremediação. Na pesquisa realizada por Sousa (2020), no mesmo rio, mas em trecho diferente, o OD apresentou aumento, após o sistema de biorremediação, favorecendo a oxidação da amônia e o processo de nitrificação, registrando também aumento da concentração de nitrito após a intervenção.

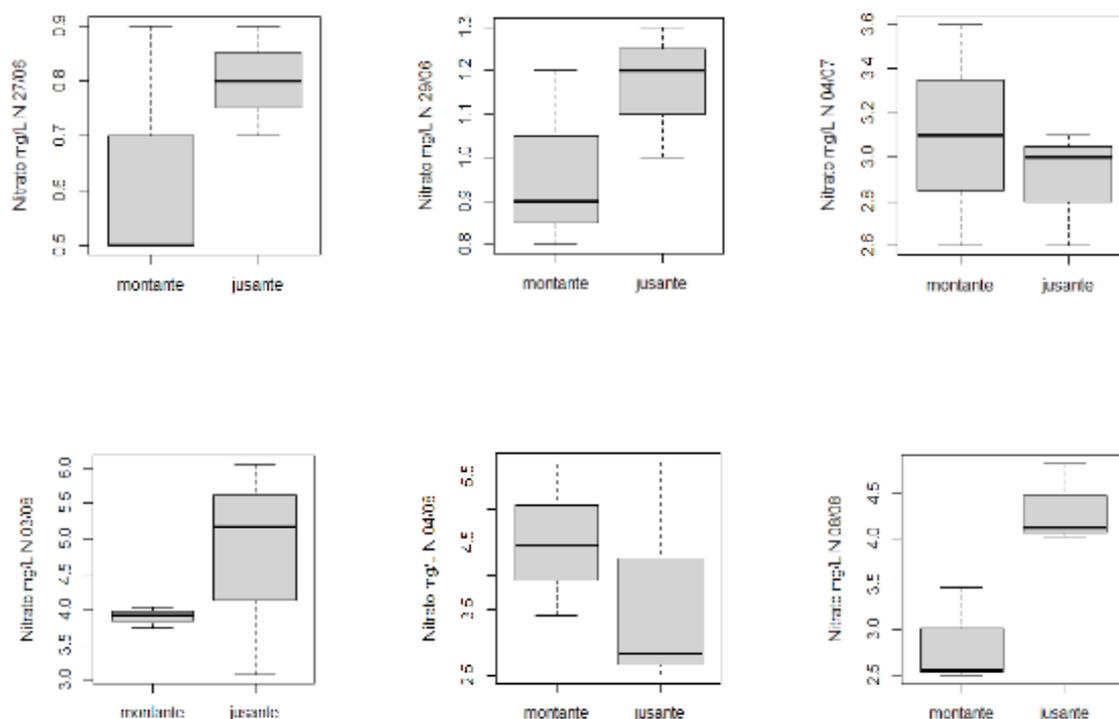
Figura 41. Gráficos de Nitrito analisados a montante e jusante do sistema de biorremediação com biofilme, instalado no Rio Jaguaribe dentro do Jardim Botânico Benjamim Maranhão



Fonte: Dados da Pesquisa, 2023.

O nitrato (Fig. 42) também apresentou redução significativa da concentração após o tratamento, na última coleta, em 08/08/2023, evidenciando a eficiência do tratamento na diminuição da concentração de nutrientes.

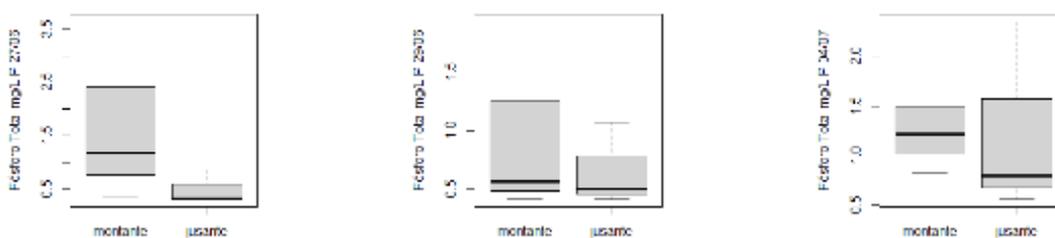
Figura 42. Gráficos Nitrato analisados a montante e jusante do sistema de biorremediação com biofilme, instalado no Rio Jaguaribe dentro do Jardim Botânico Benjamin Maranhão

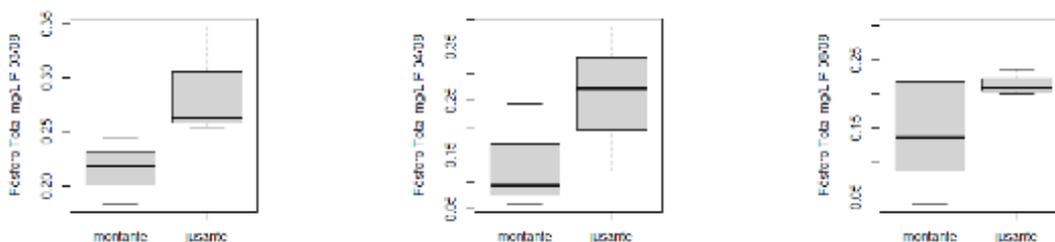


Fonte: Dados da Pesquisa, 2023.

O parâmetro de Fósforo Total não apresentou diferença significativa em duas das análises realizadas, mas apresentou diferença significativa em 08/08/2023, com maiores concentrações após passar pelo sistema de biorremediação. (Fig. 43).

Figura 43. Gráficos de Fósforo Total analisados a montante e jusante do sistema de biorremediação com biofilme, instalado no Rio Jaguaribe dentro do Jardim Botânico Benjamin Maranhão





Fonte: Dados da Pesquisa, 2023.

CONCLUSÃO

Ficou constatado através da pesquisa realizada que o método de biotratamento por biofilme aquático se mostrou eficiente apenas na diminuição da concentração, de Nitrito, apresentando diminuição significativa após a intervenção realizada.

Outros parâmetros analisados demonstraram o aumento de concentrações ou densidades, como o nitrato, o fósforo total e coliformes. O fato de os módulos de biorremediação terem sido colocados em trecho com grande correnteza, pode ter causado o aumento desses nutrientes, em virtude da liberação de material do biofilme dos substratos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O biotratamento já apresentou bons resultados nas pesquisas de Marinho (2018) e Souza (2020), no entanto, talvez pelo grande fluxo de água no trecho experimental, saída da barragem para o rio, onde tem um gargalo de concentração de águas, esse efeito benéfico não se verificou.

Devido à grande quantidade de nutrientes e outros parâmetros que mostram a degradação do Rio Jaguaribe, como os elevados valores de DBO, DQO, coliformes e baixas concentrações de oxigênio dissolvido, que mostram que o rio não se enquadra nem em rios de classe III, faz-se necessário que medidas de controle da poluição ocorram para garantir a diminuição de indicadores de contaminação fecal e só assim garantir reais melhorias na qualidade da água dos rios urbanos. Assim propõe-se que fossas ecológicas de tratamento unifamiliar (Tevaps) ou coletivo (TEWetlands) sejam instalados na Bacia do Rio Jaguaribe, de forma a reter a entrada do excesso de nutrientes por esgoto não tratado.

Além dos parâmetros avaliados, o biotratamento utilizado se mostrou eficiente no barramento de certos flutuantes que chegavam ao Jardim Botânico pela correnteza, agindo como ecobarreira, além de proporcionar melhoramento visual da água no local de intervenção.

REFERÊNCIAS

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. BRANDÃO, C. J. (Org.). **Guia Nacional De Coleta E Preservação De Amostras: Água, Sedimento, Comunidades Aquáticas E Efluentes Líquidos**. 2. ed. Brasília: ANA, 2011. 327 p.

APHA. *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 23th ed. Washington, DC, New York: American Public Health Association; 2017.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº. 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e dá outras providências, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Brasília. Publicada no D.O.U. de 18 de março de 2005. 2005.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº. 274, de 29 de novembro de 2000**. Dispõe sobre a definição dos critérios de balneabilidade em águas brasileiras, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Brasília. Publicada no D.O.U. nº 18, de 25 de janeiro de 2001, Seção I, páginas 70-71.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Mortandade de Peixes** - 2019. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/mortandade-peixes/alteracoes-fisicas-e-quimicas/contaminantes/amonia/>>, em 10 de abril de 2023.

CRISPIM, M. C.; ANTÃO-GERALDES, A. M.; OLIVEIRA, F. M. F.; MARINHO, R. S.; MORAIS, M. M... **Potencialidades da Implementação de Biorremediação na Reabilitação de rios: Dados Iniciais e Considerações**, p278 a 295, in: ROQUE, A. C.; PAULA, D. P.; DIAS, J. A.; FONSECA, L. C.; RODRIGUES, M. A. C.; ALBUQUERQUE, M. G.; PEREIRA, S. D.. Saindo da zona de conforto: a interdisciplinaridade das zonas costeiras, Rio de Janeiro: FGEL-UERJ (Rede BRASPOR; tomo VIII), 543 p, 2019.

FRANCES, J.L.; GEOFF, A.; BARBARA, F.N. **The effects of nitrite on the short-term growth of silver perch (*Bidyanus bidyanus*)**. Aquaculture, 163: 63-72, 1998

MARINHO, R. S. A. **Biorremediação para o Melhoramento da Qualidade da Água em Rios Urbanos em João Pessoa – PB: efeitos na ictiofauna**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, da Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa-PB, 2018.

SOUSA, C. E. **Avaliação de sistemas biorremediadores em efluentes da lagoa facultativa da estação de tratamentos de esgotos em Mangabeira, João Pessoa/PB**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, da Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa-PB, 2015.

VIEIRA, D. M. **Aquicultura Familiar: Contribuições para a Sustentabilidade**. Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, da Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa-PB, 2018.

ANEXO I: DADOS DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO JAGUARIBE NA ÚLTIMA DÉCADA.



GOVERNO DO ESTADO DA PARAÍBA
SECRETARIA DE ESTADO
DA INFRAESTRUTURA, DOS RECURSOS HÍDRICOS E DO MEIO AMBIENTE
SUPERINTENDÊNCIA DE ADMINISTRAÇÃO DO MEIO AMBIENTE



Programa de monitoramento dos Recursos Hídricos																	
Estação de amostragem		Enquadramento				Coordenadas						Observações					
JB 01		Classe 2 DZS 205				S 07°08'28.8" W 034°52'16.0"											
ANO	CONAMA 357																
	Amostra	Data	Hora	Temp	OD	pH	Condt.	SDT	Cor	Turbidez	Sal	DBO	Cloreto	Alcal.	Acidez	Dureza	Coliformes
2011	326	14/04/2011	07:30	27	2,2	7,03	264	196	100	98	0	6,6					480000
	1436	18/08/2011	07:40	26	3,4	6,70	292	216	61	36	0	5,4					320000
	2595	14/12/2011	07:55	29	0,0	7,41	360	270	44	12	0	15,0					150000
2012	2500	19/06/2012	08:23	28	5,8	6,72	106	78	96	90	0	4,4					10000
	4005	22/11/2012	08:00	28	1,2	7,00	353	261	27	0	0	2,4					61400
2013	918	25/04/2013	07:42	27	2,6	4,78	229	167	95	27	0	3,2					668
	1352	20/06/2013	06:52	24	1,8	4,89	388	287	69	10	0	2,4					6400
	2427	16/10/2013	07:10	27	1,4	7,14	360	267	64	10	0	5,8					9600
	2925	12/12/2013	06:40	26	1,0	7,44	370	274		0	0	5,2					2200
	617	20/03/2014	06:39	29	1,6	7,90	357	264		10,4	0	3,6					185000
2014	1774	30/07/2014	06:46	25	2,2	6,97	348	257		3,78	0	3,1					8740
	2075	11/09/2014	06:55	26	2,9	7,19	280	207	49,3	40,2	0	5,9					22560
	2581	11/12/2014	07:49	28	1,2	7,17	369	274	31,9	4,32	0	21					-
	1335	18/06/2015	08:15	26	2,2	6,75	392	298	43,8	5,49	0	2					38000
2015	2073	17/09/2015	08:00	26	2,21	6,84	345	274	41	9,6	0	11					173000
	2810	22/12/2015	07:40	27	0,92	6,8	473	356	66,8	20,1	0	9					975000
	773	22/03/2016	12:20	29,7	0,45	6,91	501	377	91,3	36,7	0	46					1202000
2016	1899	14/07/2016	08:40	26	0,2	6,75	352	287	44,3	8,27	0	14					875000
	2622	15/09/2016	07:34	29	0,4	7,16	480	358	76,8	24,9	0	3,1					2300000
	3706	14/12/2016	11:17	30,1	0,4	6,97	476	355	53	17	0	38					84000
2017	704	09/03/2017	11:27	30,8	0,97	6,79	639	461	109	58,5	0	48					230000
	1885	28/06/2017	07:29	28	3,5	7,8	309	239	104	41,9	0	11					70400
	2572	30/08/2017	09:10	26	1,9	6,9	361	248	65	6,49	0	22					170000
2018	3072	17/10/2017	07:10	26	0,5	7,06	367	250	70	7,06	0	24					900000
	600	27/02/2018	07:20	27	1,8	6,5	354	241	20	4,88	0	22	-	-	-	-	4900
	1155	12/04/2018	07:45	26	4	6,69	337	229	51	7,88	0	7,2	-	-	-	-	52000
	1883	13/06/2018	07:56	25,8	1,18	7,27	334	277	47	6,07	0	2	39,2	77,9	35	77,1	14000
	2324	15/08/2018	07:45	26	1,8	6,75	313	214	42	4,1	0	14	38	98,6	10,8	76,8	60000
	2823	21/11/2018	07:40	27	0,7	6,01	355	242	33,1	4,66	0	41	45,8	113	20,9	256	102000
	571	21/02/2019	08:21	27,2	7,35	0,84	39,4	7,52	449	305,32	0	30	121,68	44,14	90,62	48,34	148000
2019	1579	22/05/2019	08:29	27,2	7,38	1,19	27,2	5,82	383,4	260,7	0	18,6	108,56	9,35	72	37,86	6000
	2522	15/08/2019	07:30	26	6,7	3,7	70,4	9,74	208	141,8	0	4,52	87,138	10,54	108,03	30,99	86000
	3310	20/11/2019	07:30	27	6,86	3	48,4	29,6	214	145,8	0	6,7	84,47	11,59	400	41,15	80000
2020	229	27/02/2020	07:45	28	8	0,9	25,7	5,8	229	156,1	0	9,6	100,93	26,16	21,2	36,85	-
	760	18/08/2020	07:50	26	7,06	1,24	23,3	4,63	224	152,7	0	6,68	95,72	27,42	25,2	38,19	11000
	1350	10/12/2020	07:51	27	6,8	3,28	40,4	13,3	218	148,7	0	13,52	100,07	25,76	26,4	33,72	105000
2021	308	09/02/2021	05:35	27	7,59	0,77	23,2	5,42	122,1	80,9	0	72,6	101,77	8,28	22,8	45,41	230000
	1187	11/05/2021	07:50	28	7,14	4,24	29,8	7	256	174,2	0	10,4	88,75	10,72	77,2	24,57	152000
	2046	18/08/2021	07:32	25	7,91	2,16	27	7	112,5	77	0	9,8	83,8	4,53	65,6	29,76	55000



GOVERNO DO ESTADO DA PARAÍBA
SECRETARIA DE ESTADO
DA INFRAESTRUTURA, DOS RECURSOS HÍDRICOS E DO MEIO AMBIENTE
SUPERINTENDÊNCIA DE ADMINISTRAÇÃO DO MEIO AMBIENTE



GOVERNO
DA PARAÍBA

Programa de monitoramento dos Recursos Hídricos																	
Estação de amostragem		Enquadramento					Coordenadas					Observações					
JB 02		Classe 3 DZS 205					S 07°08'07.6" W 034°51'30.1"										
CONAMA 357																	
NE >4,0 6 a 9 NE 500 75 100 0,5 <10,0 2500																	
ANO	JB 02																
	Amostra	Data	Hora	Temp	OD	pH	Condt.	SDT	Cor	Turbidez	Sal	DBO	Cloreto	Alcal.	Acidez	Dureza	Coliformes
2011	327	14/04/2011	07:40	27	2,8	7,12	224	166	25	12	0	3,8					130000
	1437	18/08/2011	07:50	26	3,4	6,86	271	200	27	5	0	3,0					73000
	2596	14/12/2011	08:10	28	2,8	7,44	325	241	32	4	0	2,0					4000
2012	2501	19/06/2012	08:38	28	6,0	6,62	202	150	67	40	0	4,4					10000
	4006	22/11/2012	08:09	28	3,0	6,94	312	231	19	0	0	1,6					33000
	918	25/04/2013	07:53	28	3,6	4,81	252	188	98	15	0	2,0					351
2013	1352	20/06/2013	07:05	23	2,8	4,87	333	247	68	10	0	4,8					4400
	2427	16/10/2013	07:20	26	3,2	7,27	324	239	59	0	0	3,4					1650
	2925	12/12/2013	06:50	25	2,8	7,45	316	234		0	0	2,8					460
	618	20/03/2014	06:50	27	3	7,97	311	230		10,1	0	3					27000
2014	1775	30/07/2014	07:00	24	3,3	7,2	307	227		3,4	0	3,2					6150
	2076	11/09/2014	07:05	25	3,7	7,14	295	218	49,7	3,97	0	3,3					9250
	2582	11/12/2014	08:03	26	2,6	7,25	346	264	27	2,8	0	2,6					-
2015	1336	18/06/2015	09:09	26	3,77	6,71	341	259	48,5	6,62	0	4					4800
	2074	17/09/2015	08:15	26,3	3,47	6,65	339	268	32,9	4,88	0	5,2					82000
	2811	22/12/2015	07:55	27	1,97	6,93	432	326	43,8	6,45	0	6					290000
	774	22/03/2016	12:43	28,6	2,82	7,02	410	308	43,8	6,83	0	4					1604000
2016	1900	14/07/2016	08:58	26	0,8	6	364	293	57,4	16,7	0	20					975000
	2623	15/09/2016	07:49	27	1,1	7,17	429	317	128	110	0	3,3					877500
	3707	14/12/2016	11:00	29,4	0,7	7	438	323	43	17	0	34					7000
	705	09/03/2017	11:06	29,06	1,08	6,84	557	405	105	52,9	0	62					297.000
2017	1886	28/06/2017	07:52	24	3,7	8,5	158,3	122	140	68,3	0	8					69750
	2573	30/08/2017	09:25	25,8	2,8	7,2	362	243	63	6,86	0	20					172800
	3073	17/10/2017	07:23	26	2,8	7,14	342	232	58	5,08	0	24					300000
	601	27/02/2018	07:35	27	3,7	6,3	320	215	21	4,61	0	8,4					125400
2018	1156	12/04/2018	08:00	26	4,7	6,85	261	177	59	8,83	0	5,6					140000
	1884	13/06/2018	08:13	25,7	2,67	7,53	308	210	51	6,81	0	4	38,2	68,1	29,8	60,9	200400
	2325	15/08/2018	08:10	26	4,6	6,97	306	209	41	4,75	0	15	39,4	78,4	6,35	81,9	5000
	2824	21/11/2018	07:56	27	3,5	6	309	210	26,6	3,68	0	33	41	82,2	11,7	512	450000
	572	21/02/2019	08:36	27,8	7,65	2,71	38,3	6,05	394	267,92	0	28	93,6	29,45	75,78	44,22	152000
2019	1580	22/05/2019	08:45	26,6	7,37	2,75	26,6	5,2	299,2	155,9	0	6	80,96	6,1	67,2	29,83	33000
	2523	15/08/2019	07:58	25	6,6	5,2	63,5	4,85	188,6	128,6	0	2,22	73,027	6,99	88,58	34,91	47000
	3311	20/11/2019	07:50	27	6,99	3,1	25,1	5,15	210	143,9	0	5,79	78,48	8,28	360	43,07	95000
2020	230	27/02/2020	08:03	29	7	3,5	24,4	4,16	205	140,5	0	4,8	82,51	15,38	14,4	36,37	
	761	18/08/2020	08:05	26	6,98	4,211	25,2	4,51	210	143,3	0	5,9	79,29	20,79	20,8	36,3	33000
	1351	10/12/2020	08:03	27	6,78	4,08	33,4	7,12	222	151,2	0	13,36	91,2	23,82	26,8	38,95	99900
2021	309	09/02/2021	07:50	27	7,32	3,26	22,9	4,35	205	140	0	13,56	85,93	6,23	20,4	44,66	297000
	1188	11/05/2021	08:05	28	6,98	3,79	36,1	8	258	175,8	0	6,8	74,64	11,31	84,4	24,57	600000
	2047	18/08/2021	07:50	25	7,75	4,19	32,5	9	191,9	130,5	0	5,92	65,9	5,44	53,2	28,12	90000



GOVERNO DO ESTADO DA PARAÍBA
SECRETARIA DE ESTADO
DA INFRAESTRUTURA, DOS RECURSOS HÍDRICOS E DO MEIO AMBIENTE
SUPERINTENDÊNCIA DE ADMINISTRAÇÃO DO MEIO AMBIENTE



Programa de monitoramento dos Recursos Hídricos																	
Estação de amostragem			Enquadramento					Coordenadas					Observações				
JB 03			Classe 3 DZS 205					S 07°07'28.2" W 034°49'48.3"									
CONAMA 357			NE	>4,0	6 a 9	NE	500	75	100	0,5	<10,0					2500	
ANO	JB 03																
	Amostra	Data	Hora	Temp	OD	pH	Condt.	SDT	Cor	Turbidez	Sal	DBO	Cloreto	AlcaL	Acidez	Dureza	Coliformes
2011	328	14/04/2011	10:10	27	0,0	6,90	1498	111	100	56	0	4,0					1150000
	1438	18/08/2011	10:36	26	1,0	6,85	278	205	42	8	0	12,0					122000
	2597	14/12/2011	11:45	28	0,0	7,42	354	262	44	13	0	5,0					340000
2012	2502	19/06/2012	10:00	27	2,8	6,69	120	89	107	97	0	1,2					10000
	4007	22/11/2012	10:23	28	0,0	6,85	370	274	48	20	0	4,0					260000
	920	25/04/2013	10:13	28	0,0	4,97	289	216	126	13	0	4,0					736
2013	1354	20/06/2013	09:25	26	0,0	4,85	318	234	88	8	0	12,0					721000
	2429	16/10/2013	09:33	28	0,0	7,07	422	319	97	21	0	42,0					144000
	2927	12/12/2013	09:04	29	0,0	7,18	479	355	44	0	0	50,0					240000
	619	20/03/2014	09:07	28	0	7,67	355	262	21,2	0	0	32					33000
2014	1776	30/07/2014	10:42	27	0	6,95	313	232		10,8	0	16,2					79200
	2077	11/09/2014	09:20	27	0	6,87	277	205	82,8	10,6	0	18,2					106700
	2583	11/12/2014	10:32	28	0	7,16	384	292	79,9	32,4	0	48					
	1337	18/06/2015	13:23	27,5	0,65	6,57	445	337	89,9	31,6	0	24					137500
2015	2075	17/09/2015	12:00	26	0,85	6,61	349	277	43,9	7,76	0	15					1080000
	2812	22/11/2015	10:55	29	1,29	6,81	452	338	72,1	24	0	18,5					535000
	775	22/03/2016	13:02	29,7	0,63	6,76	381	284	63,8	12,6	0	8					1460000
2016	1901	14/07/2016	12:46	27	0,2	6	337	269	57,2	9,97	0	17					203000
	2624	15/09/2016	11:06	26	0,8	7,21	426	320	52,8	10,7	0	1,6					3040000
	3708	14/12/2016	07:38	27,7	0,9	7,2	496	370	61	16,2	0	46					33000
	706	09/03/2017	07:10	27,7	1,21	6,91	475	352	76	14,5	0	24					22000
2017	1887	28/06/2017	08:40	25	1,4	8,8	322	247	95	27	0	17,6					72000
	2574	30/08/2017	10:00	26,6	0,3	6,9	378	259	92	22,7	0	34					980000
	3074	17/10/2017	11:15	28	0,6	6,85	339	230	68	8,5	0	22					230000
	602	27/02/2018	11:02	31	0,4	6,6	315	214	38	12,2	0	22	-	-	-	-	180600
	1157	12/04/2018	10:58	27	1	6,76	233	157	106	21,7	0	17,2	-	-	-	-	206000
2018	1885	13/06/2018	11:39	26,3	0,42	7,3	302	205	62	6,54	0	14	35,2	76,1	29	60,9	210000
	2326	15/08/2018	11:15	27,2	0,7	7,06	296	202	56	9,11	0	18,5	35,6	97,4	10	81,9	460000
	2825	21/11/2018	11:18	29	0,3	6,28	437	297	81,2	48,8	0	61	49,8	142,8	29,7	384	250000
	573	21/02/2019	11:37	28,1	7,38	0,21	73,2	25,2	397	269,96	0	32	109,2	44,17	83,97	41,83	170000
2019	1581	22/05/2019	11:27	27,7	8,26	0,48	27,7	7,87	147,6	100,4	0	20,8	73,23	13,31	51,6	23,06	37000
	2524	15/08/2019	11:21	27	6,54	1,6	70,2	4,45	172,8	117,7	0	4,79	75,19	15,05	83,46	31,18	42000
	3312	20/11/2019	11:10	29	6,53	1,7	29,1	5,4	181,3	123,4	0	7,2	88,94	13,34	220	39,24	72000
	231	27/02/2020	12:30	29	7	1,7	33,6	10,6	197,8	135,1	0	8,3	95,27	31,63	15,6	33,02	
2020	762	18/08/2020	11:30	29	6,97	2,1	33,4	5,25	197,7	134,5	0	6,24	82,09	34,78	22	33	20000
	1352	10/12/2020	11:20	30	6,67	1,25	43,4	15,2	218	148,7	0	8,1	102,59	44,16	19,6	37,52	52500
2021	310	09/02/2021	11:48	28	6,65	0	111	158	218	148,1	0	58	98,73	19,2	20,8	43,92	420000
	1189	11/05/2021	11:40	28	6,97	0,72	50,1	20	240	163,3	0	38,2	81,8	11,79	58,4	21,12	800000
	2048	18/08/2021	11:30	25	6,66	0,38	39,7	13	199,6	137,8	0	4,6	82,7	10,83	54,8	26,9	750000



GOVERNO DO ESTADO DA PARAÍBA
SECRETARIA DE ESTADO
DA INFRAESTRUTURA, DOS RECURSOS HÍDRICOS E DO MEIO AMBIENTE
SUPERINTENDÊNCIA DE ADMINISTRAÇÃO DO MEIO AMBIENTE



Programa de monitoramento dos Recursos Hídricos																	
Estação de amostragem			Enquadramento					Coordenadas					Observações				
JB 04			Classe 3 DZS 205					S 07°05'59.0" W 034°50'51.3"									
CONAMA 357			NE	>4,0	6 a 9	NE	500	75	100	0,5	<10,0					2500	
ANO	JB 04																
	Amostra	Data	Hora	Temp	OD	pH	Condt.	SDT	Cor	Turbidez	Sal	DBO	Cloreto	Alcal.	Acidez	Dureza	Coliformes
2011	329	14/04/2011	10:30	27	0,6	7,05	157	116	25	46	0	10,4					200000
	1439	18/08/2011	10:48	26	1,8	6,84	269	199	48	12	0	9,6					302000
	2598	14/12/2011	11:15	28	0,0	7,29	351	260	57	13	0	13,0					1070000
2012	2503	19/06/2012	11:55	28	4,4	6,59	153	113	49	17	0	1,8					59620
	4008	22/11/2012	10:36	29	0,0	6,83	336	249	41	12	0	8,0					257000
2013	921	25/04/2013	10:25	28	0,0	5,01	260	190	108	13	0	10,0					1106
	1355	20/06/2013	08:15	26	0,0	4,82	379	280	100	10	0	14,0					130000
	2430	16/10/2013	09:50	28	0,0	7,08	492	365	119	33	0	38,0					310000
	2928	12/12/2013	09:22	29	0,0	7,21	540	400		46	0	50,0					360000
2014	620	20/03/2014	09:00	28	0	7,7	408	302		19,1	0	36					270000
	1777	30/07/2014	11:00	28	0	6,98	366	271		14,9	0	19,6					170300
	2078	11/09/2014	09:28	27	0	6,89	303	224	94,1	14,2	0	17,9					163200
	2584	11/12/2014	10:42	28	0	7,04	394	298	57,8	24,5	0	24					-
2015	1338	18/06/2015	13:44	28	0,44	6,68	544	413	115	76,1	0	34					368000
	2076	17/09/2015	12:30	30	1	6,21	417	314	67,7	13,7	0	25					-
	2813	22/12/2015	11:13	30	0,81	6,8	492	365	87,9	38,3	0	20,5					870000
2016	776	22/03/2016	13:25	31,1	0,6	6,57	450	334	86,1	31	0	12					-
	1902	14/07/2016	13:06	28	0,1	6,2	368	294	66,5	12,9	0	21					641000
	2625	15/09/2016	11:24	29	0,6	7,18	378	287	54,9	12,3	0	1,1					7182000
	3709	14/12/2016	07:12	27,8	0,3	6,98	523	393	72	21,9	0	54					203000
2017	707	09/03/2017	06:51	27,6	0,93	6,99	513	383	81	26,1	0	32					1836000
	1888	28/06/2017	10:06	25,3	1,8	8,4	194,5	148	83	23,2	0	20,4					80500
	2575	30/08/2017	10:25	27	1,3	7,1	433	290	140	59	0	56					330000
	3075	17/10/2017	11:46	29	0,4	6,96	373	250	85	16,1	0	26					380000
2018	603	27/02/2018	11:30	31	0,4	6,5	362	245	51	19,4	0	27	-	-	-	-	117400
	1158	12/04/2018	11:20	27	0,4	6,85	243	163,5	117	27,8	0	17	-	-	-	-	410000
	1886	13/06/2018	12:08	27,6	0,45	7,32	345	234	73	11,3	0	12	35,7	6,2	38	146,2	330000
	2327	15/08/2018	11:41	28,5	0,42	6,98	363	247	93	21,8	0	30	38	123,2	15,5	107,5	109000
	2826	21/11/2018	11:30	30	0,4	6,07	453	308	73	47,4	0	63	48,1	152	23,6	256	2349000
2019	574	21/02/2019	12:04	29,2	7,55	0,41	84,1	46,3	483	328,44	0	40	134,4	52,7	112,64	43,74	36000
	1582	22/05/2019	11:42	28	8,49	0,52	28	11,8	280,5	190,7	0	14,8	83,74	16,09	55,6	24,13	98000
	2525	15/08/2019	11:46	26	5,99	0,9	87,9	9,71	208	142	0	13,49	97,747	15,55	105,47	32,63	390000
	3313	20/11/2019	11:30	29	6,61	1,6	40,9	8,59	228	156,5	0	13,66	108,56	18,03	260	41,15	660000
2020	232	27/02/2020	13:00	32	7	1,5	41,7	19	227	153,4	0	18,7	112,82	36,65	19,6	36,37	
	763	18/08/2020	12:00	28	6,92	0,13	49,9	12,9	228	155,3	0	23,2	104,76	36,34	29,2	35,36	113000
	1353	10/12/2020	11:43	30	6,79	0,32	66,3	32	259	173,3	0	22,7	118,04	24,65	22	41,32	100000
2021	311	09/02/2021	12:16	30	6,72	0	71,1	42,8	259	176,6	0	52,6	120,86	25,05	25,6	47,27	830000
	1190	11/05/2021	12:05	29	6,98	0	60	13	250	170,5	0	31,8	97,86	11,79	74,8	21,5	1350000
	2049	18/08/2021	11:40	25	7,06	0	58,8	30	250	171	0	2,6	105,8	13,73	56,8	28,94	950000