



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA - CT
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

BEATRIZ ARANHA DE FARIAS

**DIAGNÓSTICO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO JAGUARIBE AO LONGO DA
ÚLTIMA DÉCADA**

JOÃO PESSOA/PB

2019

BEATRIZ ARANHA DE FARIAS

**DIAGNÓSTICO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO JAGUARIBE/PB AO LONGO
DA ÚLTIMA DÉCADA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Engenharia Química
do Centro de Tecnologia da Universidade
Federal da Paraíba como requisito obrigatório
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Química.

Orientadora: Profa. Dra. Vivian
Stumpf Madeira

JOÃO PESSOA/PB

2019

BEATRIZ ARANHA DE FARIAS

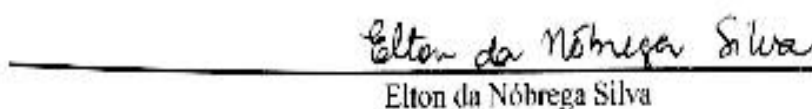
**DIAGNÓSTICO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO JAGUARIBE/PB AO
LONGO DA ÚLTIMA DÉCADA**

Trabalho final do curso apresentado
à Coordenação do Curso de Engenharia
Química como requisito necessário para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Química pela Universidade
Federal da Paraíba.

Aprovado em 25 de Setembro de
2019.


Prof. Dra. Vivian Stumpf Madeira


Prof. Dr. Rennio Felix de Sena


Elton da Nóbrega Silva

Catalogação na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

F224d Farias, Beatriz Aranha de.

Diagnóstico da Qualidade da Água do Rio Jaguaribe/PB ao
Longo da Última Década / Beatriz Aranha de Farias. -
João Pessoa, 2019.

78 f. : il.

Coorientação: Talita Araújo.

Monografia (Graduação) - UFPB/DEQ.

1. Poluição hídrica, rio urbano, rio Jaguaribe. I.
Título

UFPB/BC

Dedico este trabalho a minha mãe, Ivone
Aranha, pelos esforços feitos à minha educação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e a intercessão de Nossa Senhora por ter me mantido firme na longa jornada dos 5 anos de curso, por todas as vezes que precisei me acalmar e Eles se mantiveram ao meu lado.

Agradeço a minha mãe, Ivone Figueiredo Aranha, que tanto me incentiva, inspira a ser forte e apoia, pela educação, amor e ensinamentos a mim dedicados que permitiram-me chegar até aqui e ser quem sou hoje. Aos meus familiares, em especial ao meu padrasto e tias por investirem e acreditarem no meu futuro sempre com bons conselhos.

Ao meu namorado Igor Leal de Medeiros por ter sido um grande amigo, amor e parceiro de estudos na Engenharia Química, sempre me apoiando e ajudando.

Obrigada a todos os amigos feitos na graduação que tornaram a jornada mais leve e divertida, me fazendo ser mais confiante e positiva em especial à Elaine, Iara, Iasmyn, Iza, Tamires e Thaine.

Agradeço aos ensinamentos, conversas e ajuda dos companheiros do laboratório LACAM que acompanharam o meu verdadeiro encontro com a área do curso que me identifico. A minha professora e orientadora Vivian Stumpf Madeira meus sinceros agradecimentos por todos os ensinamentos e conselhos que irei levar para o meu futuro profissional e pessoal.

Obrigada à SUDEMA, onde estagiei, pela disponibilidade dos dados de monitoramento do rio e ao laboratório de Laboratório de Tecnologia Química da Universidade Federal da Paraíba. Aos meus colegas de estágio e supervisor, que estiveram sempre à disposição para dúvidas e aconselhamentos.

RESUMO

O rápido processo de urbanização nas cidades acarretou impactos nocivos ao meio ambiente, principalmente com relação a deterioração da qualidade dos recursos hídricos. Os rios próximos aos ambientes urbanos passaram a ser o destino final de lixo e esgotos domésticos provenientes da população ribeirinha, além de terem seu percurso alterado e sua mata ciliar devastada. Neste contexto, o rio Jaguaribe, localizado no município de João Pessoa, estado da Paraíba, vem sofrendo essa pressão antropogênica e perdendo suas características originais ao longo dos anos. Este trabalho visa, por meio da avaliação dos dados de monitoramento realizados pela SUDEMA (Superintendência de Administração do Meio Ambiente), contribuir para o diagnóstico do rio ao longo dos últimos dez anos. A qualidade da água do rio Jaguaribe foi analisada por meio de análises físico-químicas realizadas em amostras coletadas em quatro pontos estratégicos ao longo do rio: à montante e à jusante da Mata do Buraquinho, na ponte sobre o rio Jaguaribe na Av. José Américo de Almeida (Cabo Branco) e na rodovia Governador Antônio de Mariz, entre os bairros de Manaíra e São José. Os parâmetros analisados nas amostras então coletadas foram: cor, turbidez, sólidos dissolvidos totais, condutividade elétrica, potencial hidrogeniônico, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio e coliformes termotolerantes. Os dados obtidos foram comparados com o que pede a Resolução do CONAMA nº 357/2005, para as águas doces de classe 2 e 3 e proporcionaram o cálculo do IQA (Índice de Qualidade da Água) e IET (Índice de Estado Trófico). Os resultados indicaram que o rio apresenta sinais de poluição antropogênica a mais de dez anos. Os valores de turbidez, sólidos dissolvidos totais e pH, apesar de estarem em conformidade com o que pede a Resolução, apresentaram uma dispersão de dados no decorrer do rio ao longo dos anos, dando um indicativo de mudanças nas propriedades físico-químicas do corpo d'água. O parâmetro cor apresentou valores acima do permitido pela Resolução em 24% do total de dados analisados no período estudado, com um crescimento não linear nos últimos 5 anos. Os parâmetros condutividade elétrica, coliformes termotolerantes, oxigênio dissolvido e demanda bioquímica de oxigênio apresentaram valores em desacordo com o estabelecido pela Resolução ao longo de toda a janela temporal estudada. O IQA do rio apontou que sua qualidade está diretamente ligada com a intervenção humana em seu percurso, onde os pontos com pior índice estão diretamente associados com a região de maior pressão antropogênica. O IET para todos os pontos do rio estudados foi classificado como hipereutrófico.

Palavras-chave: poluição hídrica, rio urbano, rio Jaguaribe, análises físico-químicas.

ABSTRACT

The rapid process of urbanization in the cities has caused harmful impacts on the environment, especially to the deterioration of the quality of water resources. Rivers close to urban environments have become the final destination for garbage and domestic sewage of the riverside population, besides having their route changed and your riparian forest devastated. In this context, the Jaguaribe River, located in the city of João Pessoa, state of Paraíba, has been suffering from this anthropogenic pressure and losing its original characteristics over the years. This work aims, through the evaluation of monitoring data made by SUDEMA (Superintendence of Environmental Administration), to contribute to the diagnosis of the river over the last ten years. The water quality of the Jaguaribe River was analyzed through physicochemical analyzes performed on samples collected at four strategic points along the river: upstream and downstream of Buraquinho Forest, at the bridge over the Jaguaribe river on Av. José Américo de Almeida (Cabo Branco) and at Governador Antônio de Mariz highway, between Manaíra and São José neighborhoods. The parameters collected were: color, turbidity, total dissolved solids, electrical conductivity, hydrogen potential, dissolved oxygen, biochemical oxygen demand and thermotolerant coliforms. The data collected of these analyzes were compared with what is required by CONAMA resolution nº357/2005 for freshwater class 2 and 3 and provided the calculation of the IQA (Water Quality Index) and IET (Trophic State Index). The results indicated that the river shows signs of anthropogenic pollution for more than ten years. Turbidity, total dissolved solids and pH values, despite being in accordance with the resolution, presented a dispersion of data along the river over the years, giving an indication of changes in the physicochemical properties of the water body. The parameter color has presented values above what is allowed by the Resolution in 24% of the total data analyzed in the studied period, with a nonlinear growth in the last 5 years. The parameters electrical conductivity, thermotolerant coliforms, dissolved oxygen and biochemical oxygen demand presented values in disagreement with that established by the resolution throughout the studied temporal window. The IQA of the river pointed out that its quality is directly linked with human intervention in its path, where the worst index points are directly associated with the region with the highest anthropogenic pressure. The EIT for all river points studied was classified as hypereutrophic.

Key Words: water pollution, urban river, Jaguaribe river, physicochemical analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classes de Enquadramento com respectivos usos e qualidade da água. ...	20
Figura 2 - Curvas médias de variação dos parâmetros de qualidade das águas para o cálculo do IQA.	32
Figura 3 - Localização do Rio Jaguaribe.	37
Figura 4 - Percurso do Rio Jaguaribe.	39
Figura 5 - Pontos de Monitoramento do Rio Jaguaribe pela SUDEMA.	43
Figura 6 - a) Localização do ponto JB01 na Ladeira do Rangel. b) Trecho do rio no ponto JB01.	45
Figura 7 - Estação elevatória da CAGEPA próximo ao ponto JB01.	46
Figura 8- Localização do ponto JB02 na Av. Dom Pedro II.	47
Figura 9 - Trecho do rio no ponto JB02.	48
Figura 10 - Momento da coleta do ponto JB03 realizada pela SUDEMA no dia 15/08/2019. a) Localização na Av. José Américo de Almeida. b) Trecho do rio no ponto JB03.	49
Figura 11 - Lançamento de efluente no trecho do rio do ponto JB03.	50
Figura 12 - Visão do rio Jaguaribe do outro lado da ponte onde é feita a coleta da SUDEMA apontando a presença de macrófitas aquáticas no corpo d'água.	51
Figura 13- a) Localização do ponto JB04. b) Trecho do rio no ponto JB04.	52
Figura 14 - Trecho do rio com presença de animais e entulho em suas margens.	52
Figura 15 - Trecho do rio no ponto JB04.	53
Figura 16 - Índice pluviométrico do período em estudo.	54
Figura 17 - Variação Temporal da Cor da Água para todos os pontos de 2009 a 2019.	57
Figura 18 - Variação Temporal da Cor da Água no ponto JB01.	58
Figura 19 - Variação Temporal da Cor da Água no ponto JB02.	58
Figura 20 - Variação Temporal da Cor da Água no ponto JB03.	59
Figura 21 - Variação Temporal da Cor da Água no ponto JB04.	59
Figura 22 - Variação Temporal da Turbidez da Água de 2009 a 2019.	60
Figura 23 - Variação Temporal dos SDT da Água de 2009 a 2019.	61
Figura 24 - Variação Temporal da Condutividade da Água de 2009 a 2019.	62
Figura 25 - Variação Temporal do pH da Água de 2009 a 2019.	63

Figura 26 - Variação Temporal do OD da Água de 2009 a 2019.	64
Figura 27 - Curva da concentração máxima de OD em função da temperatura em um corpo hídrico de acordo com a Lei de Henry.	65
Figura 28 - Variação Temporal de DBO da Água de 2009 a 2019.	66
Figura 29 - Comparação dos valores de DBO no mês de fevereiro para cada ponto de coleta nos anos de 2010, 2018 e 2019 e seu respectivo índice pluviométrico.	67
Figura 30 - Variação Temporal de Coliformes Termotolerantes no corpo hídrico em todos os pontos de 2009 a 2019.....	68
Figura 31 - Variação Temporal de Coliformes Termotolerantes do ponto JB01.....	69
Figura 32- Variação Temporal de Coliformes Termotolerantes do ponto JB02.....	69
Figura 33 - Variação Temporal de Coliformes Termotolerantes do ponto JB03.....	70
Figura 34 - Variação Temporal de Coliformes Termotolerantes do ponto JB04.....	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Classificação das águas doces com o uso preponderante, segundo a Resolução do CONAMA nº357/05.	20
Tabela 2 - Parâmetros de Qualidade da Água do IQA e seu respectivo peso.	31
Tabela 3 - Faixas de Avaliação da Qualidade da Água na Paraíba.	33
Tabela 4 - Classes de Estado Trófico e suas características.	35
Tabela 5 - Coordenadas Geográficas dos pontos de coleta de água.	44
Tabela 6 - Concentração máxima de OD em função da temperatura para cada ponto de coleta.	65
Tabela 7 - Valores dos parâmetros utilizados para o cálculo do IQA.	71
Tabela 8- IQA de cada ponto no dia 15/08/2019 com sua determinada classificação.	71
Tabela 9 - Resultados de IET para o dia 15/08/2019 de acordo com Lamparelli para ambientes lóticos.	72

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	13
2.	OBJETIVOS	15
2.1	Objetivo Geral	15
2.2	Objetivos Específicos	15
3.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
3.1	Poluição Ambiental em Bacias Hidrográficas Urbanas.....	16
3.2	Aspectos Legais	18
3.2.1	Monitoramento da Água	22
3.3	Parâmetros de Qualidade da Água.....	22
3.3.1	Parâmetros Físicos	23
3.3.2	Parâmetros Químicos	25
3.3.3	Parâmetro Microbiológico	29
3.4	Índice de Qualidade da Água - IQA	30
4.	ÁREA DE ESTUDO	37
4.1	Rio Jaguaribe	37
4.2	Condições e Padrões da Qualidade de Água.....	40
5.	METODOLOGIA.....	43
5.1	Pontos de Coleta da Água para Análise.....	43
5.2	Parâmetros de Qualidade da Água Analisados	53
5.2.1	Parâmetros Físico-Químicos	53
5.2.2	Índice de Qualidade da Água e Estado Trófico.....	54
6.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	56
6.1	Avaliação do rio Jaguaribe ao longo de 10 anos.	56
6.2	Índice de Qualidade da Água	71
6.3	Índice de Estado Trófico - IET	72
7.	CONCLUSÃO.....	73
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74

1. INTRODUÇÃO

Um dos assuntos mais recorrentes em grandes pautas nacionais e internacionais é a poluição das águas visto que estamos diante de um recurso limitante a promoção e qualidade de vida das pessoas e ao equilíbrio dos ecossistemas. A Assembleia Geral das Nações Unidas decretou a década 2018-2028 como a Década Internacional da “Água para o Desenvolvimento Sustentável”, que começou no Dia Mundial da Água, em 22 de março de 2018, e termina no Dia Mundial da Água, em 22 de março de 2028. A resolução da ONU enfatiza que o desenvolvimento sustentável e a gestão integrada dos recursos hídricos são cruciais para alcançar os objetivos sociais, econômicos e ambientais (ONU, 2018).

O relatório das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos diz que se as tendências atuais persistirem, a qualidade da água continuará a se degradar nas próximas décadas, em particular, nos países pobres em recursos e em áreas secas, ameaçando ainda mais a saúde humana e os ecossistemas. A poluição da água pode ser entendida como qualquer alteração nas suas características químicas, físicas ou biológicas de forma a torná-la imprópria para a vida ali existente. De forma prática a poluição se restringe a prejuízos sanitários, econômicos e estéticos que afetam, de maneira nociva, direta ou indiretamente, a vida e o bem-estar do ser humano (UNESCO, 2003).

Segundo a Agência Nacional das Águas (ANA) em uma pesquisa sobre a Conjuntura dos Recursos Hídricos, o Brasil é detentor de 12% da água potável do Planeta, no entanto, apenas 4% dela é considerada ótima. A pesquisa ainda mostra que a maior parte dos rios e bacias com problemas de oferta de água se encontra no Nordeste por conta das secas, porém uma parte desse estresse hídrico é consequência do corte da mata ciliar e do lançamento de esgotos domésticos não tratados nos rios (ANA, 2011).

Os rios do Nordeste brasileiro vêm passando, ao longo de muitos anos, por uma grande pressão antropogênica que compromete sua disponibilidade e qualidade, principalmente aqueles em que seu percurso acompanha o crescimento populacional e industrial de sua cidade; os rios urbanos. Dentre os principais poluentes de atividade humanas estão os despejos de efluentes, provocados por ligações clandestinas de comunidades ribeirinhas e a disposição incorreta de resíduos sólidos.

As cargas excessivas de poluentes podem causar o assoreamento e a homogeneização do leito dos rios e córregos, interferem na capacidade de autodepuração do rio, além da eutrofização artificial (aumento nas concentrações de fósforo e nitrogênio e consequente desenvolvimento de algas e cianobactérias em excesso). As alterações ocorridas em uma bacia hidrográfica podem ser avaliadas através do monitoramento da qualidade das águas superficiais ao longo do tempo.

Neste contexto encontra-se a bacia hidrográfica do Rio Jaguaribe localizada no Município de João Pessoa, capital do Estado da Paraíba, considerado o mais extenso rio urbano da cidade, totalizando 21km de extensão. Anteriormente atraente à população, o rio hoje encontra-se sofrendo as consequências do processo de expansão urbana sem planejamento e gestão ao longo de muitos anos, tais como; lançamento de esgotos, retirada de mata ciliar, ocupação irregular em suas margens, aterramento e acúmulo de lixo.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a qualidade da água do rio Jaguaribe através de parâmetros de qualidade de água coletadas em quatro locais pontuais nos últimos dez anos e investigar suas possíveis causas de poluição.

2.2 Objetivos Específicos

- Analisar os dados de monitoramento existentes no banco de dados da SUDEMA, em quatro pontos diferentes ao longo do percurso do rio Jaguaribe, no decorrer dos últimos dez anos.
 - Realizar análises adicionais de Fósforo e Nitrogênio, para o cálculo dos índices de IQA e IET.
- Verificar a conformidade dos parâmetros analisados com base nos padrões e condições de água doce das classes 2 e 3, especificadas na Resolução do CONAMA nº 357/2005.
- Calcular o Índice de Qualidade da Água (IQA) e Índice de Estado Trófico (IET) do rio.
- Investigar em que ponto o rio encontra-se mais comprometido em relação a sua qualidade e as prováveis causas de poluição do rio.
- Apresentar um diagnóstico da situação do rio no período analisado.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Poluição Ambiental em Bacias Hidrográficas Urbanas

Os recursos hídricos são utilizados para distintas finalidades, entre as quais se destacam o abastecimento humano e dessedentação animal, a geração de energia, irrigação, navegação, aquicultura e harmonia paisagística. A Lei Federal nº9.433/1997 institui a Política Nacional dos Recursos Hídricos e tem como objetivo “assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos”. Nas regiões urbanas este objetivo tem se tornado um crescente desafio.

Ao longo das últimas décadas o crescimento da população urbana vem tomando proporções além do imaginado e planejado na maioria das cidades criando as chamadas regiões metropolitanas, que em sua grande maioria cresceram no percurso de um rio.

Diante da expansão das áreas urbanas e da ocupação desordenada com pensamento apenas no lado econômico as consequências ambientais foram surgindo ao longo dos anos, como a impermeabilização dos solos, os despejos de esgotos e entupimento de bueiros por lixo que acabam sendo carregados pela chuva para os córregos. As bacias hidrográficas são ambientes frágeis que muitas vezes são esquecidas devido à conveniência da expansão do território urbano, perdendo assim seu padrão natural de formação, suas matas ciliares, fauna, flora.

A poluição das águas ocorre quando há contaminação por seres patogênicos ou substâncias em concentração nociva ao ser humano, que resultam em alterações ecológicas no corpo hídrico. A poluição pode ocorrer basicamente por três motivos: introdução de substâncias artificiais e estranhas ao meio, como, por exemplo, o lançamento de agrotóxicos em rios; introdução de substâncias naturais e estranhas ao meio, como a entrada de sedimentos no corpo d'água; e a alteração na proporção ou nas características dos elementos constituintes do próprio meio, como, por exemplo, a diminuição do teor de oxigênio dissolvido nas águas de um rio em decorrência da presença de matéria orgânica (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2006).

A poluição também pode ser dividida em pontual ou difusa. Na poluição pontual, os poluentes atingem o corpo d'água de forma concentrada no espaço. Já na poluição difusa, os poluentes adentram o corpo de água distribuído ao longo de toda sua extensão (VON SPERLING, 2005).

As águas residuárias, que abrangem os efluentes domésticos e as descargas industriais, representam a maior fonte artificial de poluição pontual de corpos hídricos. Essas fontes são consideradas pontuais na medida em que os poluentes atingem um determinado corpo de água de forma concentrada no espaço, com localização definida e frequentemente com regime contínuo de produção. As cargas poluidoras não pontuais (ou difusas) são geradas em áreas extensas e chegam aos corpos de água de forma intermitente, dificultando, assim, sua identificação, medição e controle (LIBOS; ROTUNNO FILHO; ZEILHOFER, 2003).

Os tipos de poluição mais comuns em rios urbanos são a poluição biológica, sedimentar e química. A poluição biológica acontece quando o corpo hídrico encontra-se contaminado por microrganismos patogênicos oriundos principalmente de esgotos domésticos. A poluição sedimentar acontece através do acúmulo de lixo e detritos que impedem a entrada da luminosidade na água, dificultando a fotossíntese realizada pelas algas. Já a poluição química ocorre quando há a presença de inseticidas, plásticos, detergentes e aditivos alimentares na água, apesar de ter efeitos sutis, podem causar intoxicação e deformações na vida aquática presente no rio.

Além das poluições citadas acima há ainda as que acontecem por conta das obras de infraestrutura nas cidades, como barragens e desvios que alteram radicalmente os fluxos de rios e córregos em todo o planeta, desde os menores e mais efêmeros afluentes, até os maiores rios do mundo. Sessenta por cento dos 227 maiores rios do mundo tiveram seus fluxos interrompidos por barragens e outras infraestruturas (UNESCO WWAP, 2003). Interrupções nesses fluxos reduzem drasticamente o transporte de sedimentos e nutrientes aos trechos a jusante, diminuindo a qualidade da água e prejudicando a saúde dos ecossistemas.

Segundo a Agência Nacional das Águas (ANA), na publicação O Atlas Esgotos: Despoluição das Bacias Hidrográficas, apenas 39% da carga orgânica gerada diariamente no País é removida pelas Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) antes dos efluentes serem lançados nos corpos d'água e o restante pode acabar alcançando os corpos hídricos sem nenhum pré-tratamento. Ou seja, mais da metade do esgoto gerado no Brasil acaba indo por

caminhos indevidos impactando ambientalmente os centros urbanos. Especificamente o Nordeste a parcela de carga orgânica sem qualquer tratamento supera os 50% (ANA, 2017).

Geralmente, grande parcela de carga orgânica não tratada nas cidades vem de bairros pobres e assentamentos às margens dos cursos de água. Por falta de outras opções, os habitantes desses assentamentos informais lançam seus resíduos e detritos diretamente nos cursos de água sem ter conhecimento do quão perigoso é para sua saúde e a do rio.

A Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (Abrelpe) estima que produzimos 78,4 milhões de toneladas de lixo urbano por ano onde 6,9 milhões não foram coletadas pelos serviços municipais e tiveram destino desconhecido. A geração de resíduos sólidos nas áreas urbanas é constante e seu destino final deve ser a coleta seletiva e o aterro sanitário da cidade, quando isso não acontece esses resíduos são lançados ao solo sem nenhum tipo de controle ambiental onde são carregados pelas chuvas para as águas superficiais e subterrâneas (ABRELPE, 2017)

Como principais impactos atribuídos ao lançamento de esgoto sanitário e resíduos sólidos em corpos hídricos superficiais têm-se a redução da concentração de oxigênio dissolvido, emissão de gases, conferência de aspecto visual desagradável, odor forte, além da possibilidade de contaminação de animais e seres humanos através do contato, direto ou indireto, com a água.

3.2 Aspectos Legais

Em 1997 ocorreu o primeiro marco na mudança do ambiente institucional regulador do uso das águas com a promulgação da chamada “Lei das Águas” através da Lei nº 9.433/97. A Política Nacional de Recursos Hídricos, implementou a gestão descentralizada e participativa com a atuação do Poder Público, usuários e comunidade em geral, criando assim uma gama de instituições atuantes neste processo como o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos – SINGREH, Conselho Nacional e Estadual de Recursos Hídricos, a Agência Nacional de Águas e os Comitês de Bacia. Os fundamentos desta nova política descritos pelo Art1º são os seguintes:

I - a água é um bem de domínio público;

II - a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;

III - em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;

IV - a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;

V - a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;

VI - a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades (BRASIL, 1997).

Os corpos d'água são enquadrados em classes de acordo com sua qualidade pela Lei nº 9.433, art. 9º de 1997 que diz que o enquadramento deve ser realizado para “assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas” e “diminuir os custos de combate à poluição das águas, mediante ações preventivas permanentes”. Cabe a ressalva que a classificação mais recente para os corpos d'água encontra-se na Resolução Conama nº 357/2005.

A Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº 357/2005 “dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e dá outras providências”.

Segundo a Agência Nacional de Águas (2009) o enquadramento de rio ou de qualquer outro corpo d'água deve considerar três aspectos principais:

- O rio que temos: condição atual;
- O rio que queremos: representa uma visão de futuro;

•Orio que podemos ter: uma visão realista que representa as limitações técnicas/econômicas.

As classes de corpos de água existentes no território brasileiro são divididas em águas doces, salobras e salinas, segundo a qualidade requerida para os seus usos preponderantes, em 13 classes de qualidade, sendo cinco classes para água doce, quatro classes para água salobra e quatro classes para águas salinas.

Para as águas doces, o tipo de água analisada neste estudo, a resolução estabelece padrões de enquadramento aos diversos usos, variando com o nível de exigência da qualidade da água, como demonstrado na Figura 1, e são especificadas de acordo com seu uso preponderante exibidos na Tabela 1.

Figura 1 - Classes de Enquadramento com respectivos usos e qualidade da água.



Fonte: Portal da Qualidade das Águas (2019)

Tabela 1- Classificação das águas doces com o uso preponderante, segundo a Resolução do CONAMA nº357/05.

Classificação	Uso Preponderante
Classe especial	Abastecimento para consumo humano com desinfecção; Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; Preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.

Classe I	Abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; Proteção das comunidades aquáticas; Recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho), conforme Resolução CONAMA nº 274/00; Irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas sem remoção de película; Proteção das comunidades aquáticas em terras indígenas.
Classe II	Abastecimento para consumo humano, após o tratamento convencional; Proteção das comunidades aquáticas; Recreação de contato primário (esqui aquático, natação e mergulho), conforme Resolução CONAMA nº 274/00; Irrigação de hortaliças e plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; Aquicultura e atividade de pesca.
Classe III	Abastecimento para consumo humano, após o tratamento convencional ou avançado; Irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; Pesca amadora; Recreação de contato secundário; Dessedentação de animais.
Classe IV	Navegação; Harmonia paisagística.

Fonte: CONAMA, 2005.

3.2.1 Monitoramento da Água

Devido ao intenso e diversificado uso dos rios, lagos e suas bacias hidrográficas, a definição de formas de manejo sustentável e controle do que está acontecendo nos corpos d'água tornou-se imprescindível. Para isso, criaram-se as redes de monitoramento que resultam em séries temporais de dados que permitem avaliar a evolução da qualidade do corpo aquático e conhecer as tendências de sua variação (ANA, 2019).

A composição natural e a verificação de indícios de poluição ou contaminação das águas que vão contra os padrões de qualidade estabelecidos pela Resolução do CONAMA 357/2005 podem ser avaliadas por meio de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos, sendo esta avaliação fundamental para determinação da adequabilidade das águas em função do uso requerido (ANA, 2019).

Segundo a Agência Nacional de Águas, as redes estaduais analisam uma média de 3000 pontos considerando parâmetros de qualidade da água e índice de estado trófico, dependendo da Unidade da Federação (ANA, 2019). A entidade responsável pelo monitoramento da qualidade da água na Paraíba é a Superintendência de Administração do Meio Ambiente— SUDEMA, órgão executivo indireto, criado em 1978, destinado a desenvolver políticas de proteção e preservação do meio ambiente.

3.3 Parâmetros de Qualidade da Água

A avaliação da qualidade da água requer conhecimento das principais características físicas, químicas e biológicas da água de forma integrada. Como tais características podem ser expressas por meio de concentrações ou outros valores numéricos, elas passaram a ser designadas como parâmetros.

Os diferentes parâmetros aqui apresentados constituem instrumentos de avaliação das características mais significativas dos corpos d'água, sejam elas de origem natural ou antropogênica, como, por exemplo:

- Grau de mineralização: obtido por meio da análise da condutividade;

- Poluição orgânica: oxigênio dissolvido e DBO;
- Contaminação fecal: bactérias coliformes;
- Aspecto físico: série de sólidos, cor e turbidez;
- Padrão de circulação do corpo d'água: temperatura e oxigênio dissolvido.

3.3.1 Parâmetros Físicos

Temperatura

A temperatura expressa a energia cinética das moléculas de um corpo, sendo seu gradiente o fenômeno responsável pela transferência de calor em um meio. As alterações na temperatura dos rios podem ser ocasionadas por fontes naturais, como energia solar (radiação) ou antropogênicas como é o caso de despejos industriais e águas de resfriamentos de máquinas.

No ambiente aquático este parâmetro tem grande influência na velocidade das reações químicas, nas atividades metabólicas dos organismos e na solubilidade de substâncias, como o oxigênio dissolvido. Corpos de água fria tem maior capacidade de dissolver oxigênio do que corpos de água quente e, sendo o OD essencial para sobrevivência da vida aquática, a temperatura é de grande importância para a qualidade hídrica. Os ambientes aquáticos brasileiros apresentam em geral temperaturas na faixa de 20 °C a 30 °C.

Cor

A cor da água é produzida pela reflexão da luz em partículas minúsculas de dimensões inferiores a 1 μm – denominadas colóides – finamente dispersas, de origem orgânica ou mineral (resíduos industriais, compostos de ferro e manganês) (FUNASA, 2014).

Para as águas naturais, em geral, as intensidades de cor variam de 0-100 mg.L⁻¹ Pt/Co. A escala Pt/Co é definida como uma escala padronizada de avaliação da cor da água especificamente concebida para detectar os tons de amarelo típicos de efluentes urbanos e de águas contendo matéria orgânica.

Substâncias resultantes da decomposição parcial de compostos orgânicos presentes nas folhas são exemplos de coloides orgânicos de origem natural, já os de origem antrópica destacam-se os esgotos domésticos e efluentes industriais.

Sabor e Odor

O sabor e odor são normalmente provocados pelos sólidos em suspensão, sólidos dissolvidos e gases dissolvidos. Suas origens provêm de causas naturais (algas, vegetação em decomposição, bactérias, fungos, compostos orgânicos) e artificiais (esgotos domésticos e industriais).

Turbidez

A turbidez pode ser definida como uma medida do grau de interferência à passagem da luz através do líquido. A presença de material em suspensão provoca a dispersão e absorção da luz, deixando a água com aparência turva que pode ser medida pela unidade de turbidez. A principal fonte da turbidez é a erosão dos solos, embora esgotos ou outras fontes de poluição possam elevá-la.

A transparência de um corpo d'água natural é um dos principais determinantes da sua boa condição e produtividade pois facilita a entrada de luz para realização da fotossíntese pelas algas. Assim, corpos hídricos com valores elevados de turbidez tendem a ter um acúmulo de matéria orgânica proveniente da morte da flora aquática e, por consequência futura, morte da fauna.

Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)

Os sólidos totais correspondem a toda matéria que permanece na água como resíduo após a evaporação, secagem ou calcinação da amostra a uma temperatura pré-estabelecida durante um período fixado. A presença de sólidos na água pode ocorrer de forma natural, através de organismos e detritos orgânicos ou processos erosivos, e antropogênica no caso de lançamento de lixo e esgotos domésticos no corpo d'água.

A medição desse parâmetro é importante pois os sólidos podem causar danos à vida aquática em geral, como por exemplo; a diminuição da incidência de luz (dificultando a fotossíntese), aumento da sedimentação no leito dos rios, destruindo organismos que fornecem alimentos ou também danificar os leitos de desova de peixes.

Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica da água é uma medida da concentração total de sais dissolvidos presentes na água, indicando sua capacidade de transmitir a corrente elétrica. Quanto maior a concentração iônica da solução, maior é a oportunidade para a ação eletrolítica e, portanto, maior a capacidade em conduzir corrente elétrica.

Sua aplicação prática é a indicação do grau de mineralização da água e indicação rápida de variações nas concentrações de minerais dissolvidos. A faixa de condutividade das águas naturais vai de 10 a 100 μ S/cm, já para ambientes poluídos por esgotos domésticos ou industriais os valores podem chegar até 1.000 μ S/cm (FUNASA, 2014).

3.3.2 Parâmetros Químicos

Potencial Hidrogeniônico (pH)

O potencial hidrogeniônico (pH) representa a intensidade das condições ácidas ou alcalinas do meio líquido por meio da medição da presença de íons hidrogênio (H^+). Abrangendo a faixa de 0 a 14, seu valor indica quando a solução aquosa é ácida ($pH < 7$), neutra ($pH = 7$) ou alcalina ($pH > 7$).

O valor do pH influi diretamente nos sistemas aquáticos por seus efeitos sobre a fisiologia das espécies e contribui para um maior ou menor grau de solubilidade das substâncias, podendo favorecer a precipitação de elementos químicos tóxicos. As alterações de pH podem ter origem natural (dissolução de rochas, fotossíntese) ou antropogênica (despejos domésticos e industriais).

Oxigênio Dissolvido

Dentre os gases dissolvidos na água o oxigênio é o mais importante tendo em vista que é um componente essencial para o metabolismo dos organismos aeróbios (que são indispensáveis para o equilíbrio do ecossistema aquático) presentes nos corpos d'água. Assim, trata-se de um dos parâmetros mais significativos para expressar a qualidade do ambiente aquático. As variações e solubilidade do oxigênio na água dependem de dois fatores principais: a temperatura e a pressão. Com a elevação da temperatura e diminuição da pressão a solubilidade do oxigênio na água diminui, assim, deve-se sempre relacionar os teores absolutos de oxigênio com a temperatura e a pressão atmosférica.

Uma das principais fontes de oxigênio para o corpo hídrico é a atmosfera, através da interface atmosfera-água. Como a molécula de O_2 é apolar, sua interação intermolecular com a água, que é polar, é fraca, assim o oxigênio proveniente da atmosfera dissolve-se nas águas naturais devido principalmente à diferença de pressão parcial. Este mecanismo é regido pela Lei de Henry cuja constante de equilíbrio apropriada é a constante da Lei de Henry, K_H , definida como:

$$K_H = \frac{[O_2]}{p_{O_2}} \quad (1)$$

Onde p_{O_2} é a pressão parcial do oxigênio atmosférico e K_H , para o O_2 , a temperatura de 25 °C, é de $1,29 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1} \text{ atm}^{-1}$. Como no nível do mar a pressão atmosférica é de 1 atm e a composição média em volume do ar seco é de 21% de O_2 , pode-se estimar a pressão parcial do oxigênio como sendo 0,21 atm. Substituindo esse valor de pressão na expressão da constante de equilíbrio de Henry rearranjada, tem-se:

$$[O_2] = K_H * p_{O_2} = 1,29 \times 10^{-3} \frac{\text{mol}}{\text{L} * \text{atm}} * 0,21 \text{ atm} = 2,7 \times 10^{-4} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \quad (2)$$

Portanto, sabendo que a massa molar do O_2 é igual a 32 KgKmol^{-1} , estima-se que a solubilidade do O_2 em água, a 25 °C e no nível do mar, como sendo $8,64 \text{ mgL}^{-1}$. Este valor seria a concentração máxima de OD em um rio, a 1 atm e 25°C, que foi dissolvida devido a diferença de pressão parcial, considerando que ele estivesse em suas melhores condições de

preservação. Outra fonte importante de oxigênio para água é a fotossíntese, que é a produção e liberação do oxigênio pelos organismos fitoplanctônicos e plantas aquáticas.

Para a manutenção da vida aquática aeróbia são necessários teores mínimos de oxigênio dissolvido de 2 mgL⁻¹ a 5 mgL⁻¹, de acordo com o grau de exigência de cada organismo. Concentrações de OD abaixo de 2 mgL⁻¹ caracterizam situação de hipóxia e comprometem a vida aquática, principalmente dos peixes. Concentrações superiores a 5 mgL⁻¹ são consideradas ótimas.

O oxigênio dissolvido no corpo hídrico pode sofrer perdas através de diversos processos como a elevação da temperatura da água, consumo pela decomposição da matéria orgânica (oxidação), perdas para a atmosfera, respiração de organismos aquáticos e a oxidação de íons metálicos. A redução nos teores de oxigênio dissolvido pode provocar mortandade dos organismos aeróbios (peixes, moluscos, crustáceos e vários microrganismos), solubilização de diversos compostos químicos de presença indesejável, aumento na toxicidade de vários elementos, geração de maus odores e inconvenientes estéticos (Ministério da Saúde, 2006).

Demandas Química e Bioquímica de Oxigênio (DQO e DBO)

A matéria orgânica é responsável pelo principal problema de poluição das águas; a baixa concentração de oxigênio dissolvido. Os parâmetros DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e DQO (Demanda Química de Oxigênio) são indicadores da presença de matéria orgânica na água.

Em um corpo d'água, quanto maior a quantidade de matéria orgânica biodegradável maior será o crescimento de bactérias cuja função é estabilizar ou decompor essa matéria orgânica. As bactérias necessitam do oxigênio dissolvido da água para sua sobrevivência, dessa forma, quanto maior for sua quantidade maior será o consumo de oxigênio.

A avaliação da presença de matéria orgânica na água pode ser feita pela medição do consumo de oxigênio por essas bactérias para estabilização de toda a matéria orgânica biodegradável presente no meio. O parâmetro DBO é uma medida do consumo ou da demanda de oxigênio dissolvido necessária para neutralizar, em um determinado período de tempo (padronizado em 5 dias) e temperatura de incubação específica (20°C), a matéria orgânica biodegradável contida na amostra de água.

A diferença entre DBO e DQO está no tipo de matéria orgânica estabilizada: enquanto a DBO se refere exclusivamente à matéria orgânica mineralizada por atividade dos microrganismos, a DQO engloba também a estabilização da matéria orgânica e inorgânica ocorrida por processos químicos. Assim, o valor de DQO sempre será maior que a DBO, além disso a subtração dos dois indica a parcela de matéria orgânica que não pode ser degradada por via biológica. Tanto a DBO quanto a DQO são expressas em mgL^{-1} de oxigênio dissolvido.

A concentração média da DBO – que é, entre os dois, o parâmetro normalmente mais utilizado – em esgotos domésticos é da ordem de 300 mgL^{-1} , o que indica que são necessários 300 miligramas de oxigênio para estabilizar, em um período de cinco dias a 20°C , a quantidade de matéria orgânica biodegradável contida em um (1) litro da amostra (FUNASA, 2014).

A concentração de DBO em ambientes naturais (não poluídos) é baixa e varia de 1 mgL^{-1} a 10 mgL^{-1} . Porém, quando o corpo d'água encontra-se contaminado por matéria orgânica esses números atingem valores bem mais elevados, e está, na maioria das vezes, recebendo esgotos domésticos ou efluentes de criatórios de animais. O problema da contaminação por matéria orgânica não está no contaminante em si, mas na consequência da sua decomposição, afetando negativamente o balanço de oxigênio do corpo d'água.

Todos os corpos d'água possuem a capacidade de assimilar uma certa carga orgânica sem atingir condições de poluição, nesses casos a quantidade de oxigênio disponível no meio líquido é suficiente para a respiração de todas as bactérias aeróbias que irão decompor a matéria orgânica ali presente. Assim, o despejo de esgotos domésticos pode, em muitos casos, ser feito sem prejuízos ao corpo d'água. Essa capacidade do ambiente aquático de restabelecer seu equilíbrio após impactos decorrentes do lançamento de cargas poluidoras recebe o nome de autodepuração.

Fósforo

O fósforo (P) é um nutriente indispensável para o crescimento de microrganismos responsáveis pela estabilização da matéria orgânica, porém quando encontrado em elevadas concentrações, pode conduzir a um crescimento exagerado de algas causando eutrofização (VON SPERLING, 2005).

A presença de fósforo na água está relacionada a processos naturais (dissolução de rochas, carreamento do solo, decomposição de matéria orgânica, chuva) ou antropogênicos (lançamento de esgotos, detergentes, fertilizantes, pesticidas). Em águas naturais não poluídas, as concentrações de fósforo situam-se na faixa de 0,01 mgL⁻¹ a 0,05 mgL⁻¹. (Ministério da Saúde, 2006).

Nitrogênio Total

O nitrogênio total representa a soma das concentrações de nitrato, nitrito, amônio e nitrogênio orgânico. A presença de nitrogênio na forma de nitrato em um corpo d'água é indicador da poluição relacionada ao final do processo de nitrificação e pode caracterizar origem antropogênica como lançamento de despejos domésticos, industriais e de criatórios de animais, assim como de fertilizantes.

3.3.3 Parâmetro Microbiológico

Coliformes Termotolerantes

As bactérias heterotróficas são de grande importância para o meio aquático pois são elas que decompõem a matéria orgânica biodegradável que é lançada no corpo d'água, sendo assim, responsáveis pela capacidade de autodepuração do rio. Todavia, quando corpos hídricos recebem esgotos passam a obter outros tipos de bactérias que podem ou não causar doenças aos seres humanos, um dos principais grupos de interesse para essa análise são os coliformes.

As bactérias do grupo coliformes totais não são necessariamente causadoras de doenças. Elas habitam o intestino dos homens e de animais, a razão da escolha dessa bactéria como indicadora de contaminação da água se dá por diversos motivos, como: elas estão presentes nas fezes de animais de sangue quente, assim, sua presença possui relação direta com o grau de contaminação fecal; possuem maior tempo de vida do que as bactérias

patogênicas intestinais; são fáceis de detectar já que as bactérias pertencentes a esse grupo fermentam a lactose do meio de cultura produzindo gases que são observados nos tubos de ensaio ou placas e a análise é economicamente viável em qualquer tipo de água.

Outra grande vantagem do uso de bactérias coliformes como indicadores de contaminação fecal é a sua presença em grandes quantidades em esgotos domésticos tornando quase que certo o diagnóstico de um corpo d'água que apresenta grandes concentrações desta bactéria em seu percurso. Assim, pelo estudo da concentração dos coliformes nas águas pode-se estabelecer um parâmetro indicador da possível existência de microrganismos patogênicos que são responsáveis por doenças de veiculação hídrica, tais como a febre tifoide, febre paratifoide, disenteria bacilar e cólera. Quanto maior a população de coliformes em uma amostra de água, maior é a chance de que haja contaminação por organismos patogênicos.

3.4 Índice de Qualidade da Água - IQA

Segundo a ANA no Portal da Qualidade das Águas o IQA foi desenvolvido para avaliar a qualidade da água bruta visando seu uso para o abastecimento público, após tratamento adequado. O IQA foi criado em 1970 pela *National Sanitation Foundation*, nos Estados Unidos e cinco anos depois chegou ao Brasil, sendo utilizada pela CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo). Hoje, é o principal índice de qualidade da água utilizado no país.

O IQA é uma espécie de nota atribuída à qualidade da água, podendo variar de zero a cem (dependendo da concentração ou do valor do parâmetro) e é mais apropriado para corpos d'água lóticos, ou seja, que apresentam água em movimento, como os rios e córregos.

O Índice foi criado a partir de uma pesquisa de opinião com especialistas em qualidade de águas, que indicaram, inicialmente, 35 variáveis indicadoras onde cada uma apresentava um peso relativo, segundo uma escala de valores “rating”. Das 35 variáveis indicadoras de qualidade de água propostas, somente nove foram selecionadas em função da sua importância para a conformação global da qualidade da água, foram elas: OD, coliformes, pH, DBO, temperatura, nitrogênio, fósforo, turbidez e sólidos totais. Cada variável obtém um peso (w) como pode ser observado na Tabela 2.

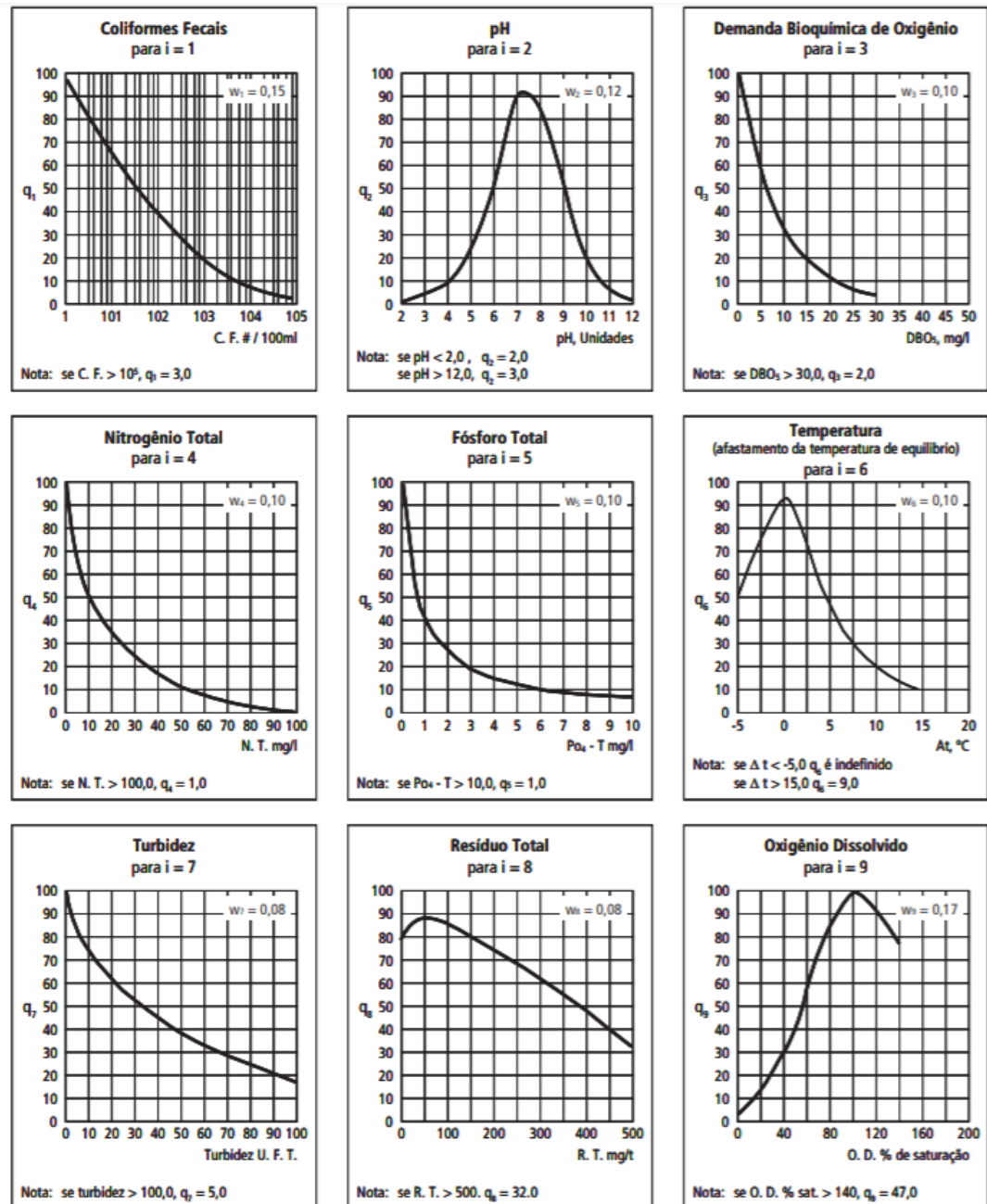
Tabela 2- Parâmetros de Qualidade da Água do IQA e seu respectivo peso.

PARÂMETRO DE QUALIDADE DA ÁGUA	PESO (w)
Oxigênio dissolvido	0,17
Coliformes termotolerantes	0,15
Potencial hidrogeniônico - pH	0,12
Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO	0,10
Temperatura da água	0,10
Nitrogênio total	0,10
Fósforo total	0,10
Turbidez	0,08
Sólidos totais	0,08

Fonte: ANA - Portal da Qualidade das Águas

Cada parâmetro, além de seu peso (w), possui um valor de qualidade (q), obtido do respectivo gráfico de qualidade em função de sua concentração ou medida, como mostrado na Figura 2.

Figura 2 - Curvas médias de variação dos parâmetros de qualidade das águas para o cálculo do IQA.



Fonte: CETESB – SP, 2018.

O cálculo do IQA é feito por meio do produtório ponderado dos nove parâmetros, segundo a seguinte fórmula:

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (3)$$

Onde:

IQA = Índice de Qualidade das Águas. Um número entre 0 e 100;

q_i = qualidade do i -ésimo parâmetro. Um número entre 0 e 100, obtido do respectivo gráfico de qualidade, em função de sua concentração ou medida (resultado da análise);

w_i = peso correspondente ao i -ésimo parâmetro fixado em função da sua importância para a conformação global da qualidade, isto é, um número entre 0 e 1, de forma que:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (4)$$

Onde n é o número de parâmetros que entram no cálculo do IQA.

Os valores do IQA são classificados em faixas entre os estados brasileiros, as faixas utilizadas no estado da Paraíba são mostradas na Tabela 3.

Tabela 3 - Faixas de Avaliação da Qualidade da Água na Paraíba.

Faixas utilizadas na Paraíba	Avaliação da Qualidade da Água
80-100	Ótima
52-79	Boa
37-51	Razoável
20-36	Ruim
0-19	Péssima

Fonte: ANA - Portal da Qualidade das Águas.

3.5 Eutrofização e o Índice de Estado Trófico– IEA

As regiões metropolitanas são as que obtêm os piores níveis de DBO nos corpos hídricos, principalmente pelo lançamento de esgotos domésticos que possibilitam o aumento excessivo de nutrientes na água (principalmente fósforo e nitrogênio). Corpos d'água com elevados teores de nutrientes são chamados de eutrofizados.

Este fenômeno tem origem natural, motivado pelo acúmulo de matéria mineral ou orgânica trazidas por cursos de água, porém leva milhares de anos para que essa quantidade de nutrientes seja realmente considerável, além de ser muito difícil de ocorrer em ambientes

lóticos considerando a capacidade de autodepuração do corpo hídrico. Porém, através de atividades antropogênicas como; despejos de esgotos domésticos ou industriais sem tratamento adequado, retirada das matas ciliares, criações agrícolas e utilização excessiva de adubos e pesticidas este fenômeno tem sido acelerado e agravado.

Com o aumento na quantidade de nutrientes disponíveis no corpo hídrico espécies como algas e cianobactérias tem mais facilidade de se reproduzir, desequilibrando assim a cadeia trófica. O aumento excessivo desses seres forma uma camada que dificulta a troca de gases entre o corpo d'água e a atmosfera além de impedir que a luz solar passe para ambientes mais profundos, afetando o processo de fotossíntese realizado por organismos que não estão localizados nas camadas mais superficiais.

Em meio a todo esse processo, as algas na superfície também produzem oxigênio, através da fotossíntese, porém a maioria dele vai para a atmosfera e o que permanece na superfície do corpo d'água acaba por dar, muitas vezes, uma falsa impressão de um meio oxigenado no momento de coleta e verificação deste parâmetro. Assim, para analisar a qualidade de um corpo hídrico é necessário o estudo de vários parâmetros em conjunto, além de cuidados específicos e procedimentos padronizados de coleta.

O problema se agrava ainda mais quando as algas começam a morrer. Uma grande quantidade de nutrientes provenientes da biomassa dessas algas fica disponível aos decompositores, que são principalmente bactérias, fungos e organismos bentônicos. Esses organismos utilizam o pouco oxigênio disponível no processo de decomposição, levando a uma “desoxigenação” do corpo d'água.

Segundo o Ministério da Saúde (2016) a eutrofização causa uma série de inconvenientes, tais como; geração de maus odores, proliferação de mosquitos e insetos (cujas larvas encontram condições favoráveis de desenvolvimento nas folhas das plantas aquáticas), morte de animais (especialmente peixes, pela falta de oxigênio para respiração) e plantas (pela falta de oxigênio e luz para a realização da fotossíntese), além de prejuízos à navegação e recreação.

O Índice do Estado Trófico de um rio tem por finalidade tornar mais clara a comunicação de estudos envolvendo a eutrofização e a classificação de corpos aquáticos em diferentes graus de trofia, ou seja, avalia a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes, em especial o fósforo (que atua como o agente causador do processo), e seu efeito

relacionado ao crescimento excessivo das algas ou ao aumento da infestação de macrófitas aquáticas.

Para definir se um ambiente está eutrofizado ou não normalmente usam-se os parâmetros clorofila-a ou nutrientes. Lamparelli propôs uma forma de avaliação do Índice de Estado Trófico, em ambientes lóticos, através da concentração de fósforo que equivalesse a mesma classe se o cálculo fosse realizado pela clorofila-a.

O cálculo do IET para os rios a partir de valores de fósforo é realizado segundo a fórmula de Lamparelli, 2004:

$$IET = (10. [6 - \left(\frac{0,42 - 0,36 \ln PT}{\ln 2} \right)]) - 20 \quad (5)$$

Onde o fósforo total (PT) é expresso em µg/L.

Os valores do IET são classificados segundo classes de estado trófico e suas características como pode ser observado na Tabela 4.

Tabela 4 - Classes de Estado Trófico e suas características.

Valor do IET	Classes de Estado Trófico	Características
≤ 47	Ultraoligotrófico	Corpos d'água limpos, de produtividade muito baixa e concentrações insignificantes de nutrientes que não acarretam em prejuízos aos usos da água.
$47 < IET \leq 52$	Oligotrófico	Corpos d'água limpos, de baixa produtividade, em que não ocorrem interferências indesejáveis sobre os usos da água, decorrentes da presença de nutrientes.
$52 < IET \leq 59$	Mesotrófico	Corpos d'água com produtividade intermediária, com possíveis implicações sobre a qualidade da água, mas em níveis aceitáveis, na maioria dos casos.
$59 < IET \leq 63$	Eutrófico	Corpos d'água com alta produtividade em relação às condições naturais, com redução da transparência, em geral afetados por atividades

		antrópicas, nos quais ocorrem alterações indesejáveis na qualidade da água decorrentes do aumento da concentração de nutrientes e interferências nos seus múltiplos usos.
63<IET=67	Supereutrófico	Corpos d'água com alta produtividade em relação às condições naturais, de baixa transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, nos quais ocorrem com frequência alterações indesejáveis na qualidade da água, como a ocorrência de episódios florações de algas, e interferências nos seus múltiplos usos
> 67	Hipereutrófico	Corpos d'água afetados significativamente pelas elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, com comprometimento acentuado nos seus usos, associado a episódios de florações de algas ou mortandades de peixes, com consequências indesejáveis para seus múltiplos usos, inclusive sobre as atividades pecuárias nas regiões ribeirinhas.

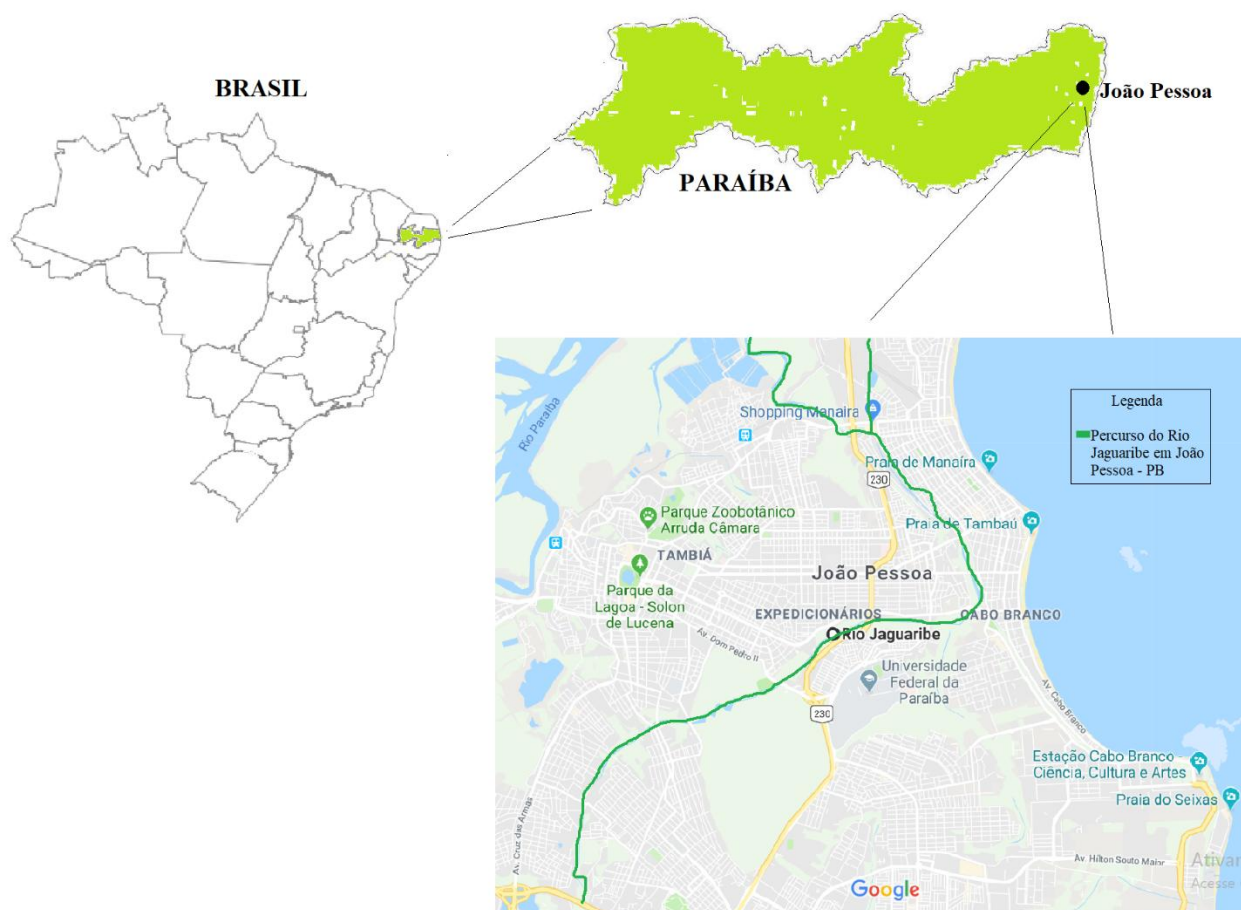
Fonte: LAMPARELLI (2004)

4. ÁREA DE ESTUDO

4.1 Rio Jaguaribe

O rio Jaguaribe está localizado na cidade de João Pessoa, estado da Paraíba (Figura 3), e começou a passar pelo processo de se transformar em um rio urbano em meados do século XIX quando o governo procurou ter um maior contato e melhor acesso à orla marítima, o que originou em sérios impactos ao rio Jaguaribe.

Figura 3 - Localização do Rio Jaguaribe.



Fonte: Autor, 2019.

Sua nascente original localiza-se ao sul da cidade de João Pessoa (PB), porém, hoje, encontra-se aterrada devido à construção do Conjunto Residencial Esplanada. Sua antiga desembocadura encontra-se no Oceano Atlântico, entre os bairros do Bessa e de Intermares, divisa dos municípios de João Pessoa e Cabedelo. Porém, em 1931, segundo Dieb (2017, p.7), o governo, em obras de drenagem que buscavam extinguir possíveis locais de habitat do mosquito transmissor de malária, fez um desvio no curso do rio Jaguaribe que passou a desaguar no rio Mandacarú (pertencente ao sistema estuarino do rio Paraíba) e o trecho entre a nova foz e a primitiva passou a ser chamado de Rio Morto.

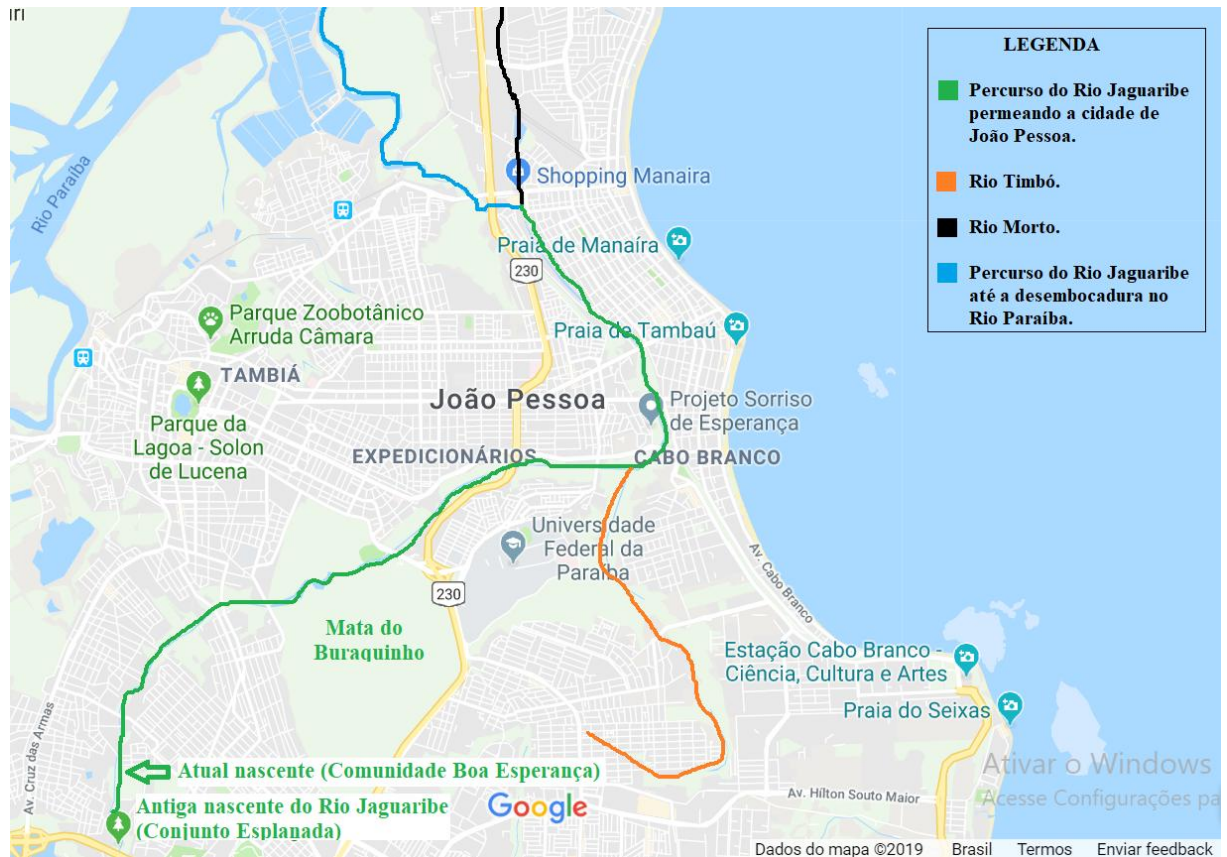
Na década de 1940 houve uma nova intervenção na bacia que visava ampliar o abastecimento de água da capital, construindo assim a barragem do Buraquinho. Segundo Gadelha Neto (2004, p.5), a construção do açude do Buraquinho, a partir do represamento do rio Jaguaribe alterou, significativamente, a dinâmica do rio e seu curso.

No final da década de 1990 com a ampliação de um grande shopping center da capital, construído as margens do Jaguaribe, boa parte da mata ciliar que ajudava a preservar o rio naquele trecho foi arrancada incentivando o “enforcamento” do seu leito e a inviabilização do escoamento na época de chuvas, provocando inundações no bairro São José.

Hoje, o Rio Jaguaribe percorre as áreas mais densamente ocupadas da cidade, sofrendo com a ação antropogênica de muitos anos, onde é submetido a uma grande carga de impactos dos mais diversos, do que diz respeito a sua origem. Com aproximadamente 21 km de extensão, incluídos os 5,5 km referentes ao trecho conhecido por rio Morto, sua atual nascente situa-se nas proximidades da Comunidade Boa Esperança; dali o rio segue em direção à planície costeira, permeando a cidade.

Ao longo do seu curso o rio passa pelos seguintes bairros (total ou parcialmente): Esplanada, Ernani Sátiro, Oitizeiro, Cristo Redentor, Cruz das Armas, Jaguaribe, Varjão (Rangel), Castelo Branco, Expedicionário, Tambauzinho, Miramar, Cabo Branco, Tambaú, Manaíra, São José, Loteamento Morada Nova (Cabedelo), Alto do Céu, Renascer, Aeroclube e Bessa. O Jaguaribe tem apenas um afluente, o rio Timbó que nasce entre os bairros de Jardim Cidade Universitária e Portal do Sol, percorrendo 5,5 km até encontrar o Rio Jaguaribe já na planície litorânea do Cabo Branco (Figura 4).

Figura 4 - Percurso do Rio Jaguaribe.



Fonte: Google Maps modificada pelo Autor, 2019.

O Rio Jaguaribe é considerado uma Zona Especial de Preservação, pelo Plano Diretor da Cidade de João Pessoa de 1974 e modificado em 1992 pelo Decreto n.º 6.499, de 20 de março de 2009, que consolida a Lei Complementar n.º 054 – Plano Diretor 2009, através do inciso III do artigo 39. Essas Zonas Especiais de Preservação deveriam ser áreas protegidas pelo poder público, devido à fragilidade e a importância ambiental que possuem para o meio ambiente e para as presentes e futuras gerações.

O Plano de Governo da Cidade de João Pessoa, 2013-2016, tinha como um de seus programas a revitalização do baixo rio Jaguaribe e reestruturação urbana do bairro São José. A reestruturação urbana de parte do bairro São José foi entregue em 2018, porém a revitalização do trecho do rio que passa no bairro não aconteceu. No ano de 2019 famílias que ainda moravam as margens do rio, poluído e sem condições para qualquer contato com a população, tiveram suas casas alagadas com as chuvas de junho.

Em 2014, outra ação que envolveu o Jaguaribe na capital foi a operação “João Pessoa em Ação” que entre outras funções objetivava desassorear o rio em vários pontos com a retirada de vegetação aquática e lixo para evitar alagamentos decorrentes de chuva, carecendo de um trabalho frequente o ano inteiro, assim não passando de um paliativo para a degradação do meio aquático ao longo dos anos.

Muitos dos bairros por onde o rio passa têm assentamentos espontâneos a sua beira onde a rede de esgotamento sanitário está em déficit com a população como é o caso do Varjão com 68% dos domicílios sem esgotamento sanitário adequado e o Bairro São José que chega ao número de 28% enquanto os bairros ao seu redor como Manaíra, sem assentamentos espontâneos, o número cai para 6% (SOARES, Daniel).

Segundo informações colhidas no site da Empresa de Limpeza Urbana de João Pessoa (EMLUR), a coleta de lixo acontece em dias alternados (exceto no bairro de Jaguaribe e nos corredores viários, onde a coleta é diária), o que auxilia para que o esgoto in natura e o lixo ainda cheguem às margens e à calha do rio.

4.2 Condições e Padrões da Qualidade de Água

O rio Jaguaribe é enquadrado pelo SELAP (Sistema Estadual de Licenciamento de Atividades Poluidoras) através da DZS 205 como águas doces de classe 2, da nascente até a barragem do açude Buraquinho, e classe 3, da barragem do açude Buraquinho até a formação do rio Mandacarú (ponte da BR 230), segundo a Resolução do Conama nº357/2005.

As águas doces de classe 2 obedecem as seguintes condições e padrões previstos pela Resolução do Conama nº357/2005 Art. 15º:

I - não será permitida a presença de corantes provenientes de fontes antrópicas que não sejam removíveis por processo de coagulação, sedimentação e filtração convencionais;

II - coliformes termotolerantes: para uso de recreação de contato primário deverá ser obedecida a Resolução CONAMA no 274, de 2000. Para os demais usos, não deverá ser excedido um limite de 1.000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em

80% ou mais de pelo menos 6 (seis) amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral. A E. coli poderá ser determinada em substituição ao parâmetro coliforme termotolerantes de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente;

III - cor verdadeira: até 75 mg PtL^{-1} ;

IV - turbidez: até 100 UNT;

V - DBO 5 dias a 20°C até $5 \text{ mgL}^{-1} \text{ O}_2$;

VI - OD, em qualquer amostra, não inferior a $5 \text{ mgL}^{-1} \text{ O}_2$;

VII - clorofila a: até $30 \mu\text{gL}^{-1}$;

VIII - densidade de cianobactérias: até 50000 celml^{-1} ou $5 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$;

IX - fósforo total: a) até $0,030 \text{ mgL}^{-1}$, em ambientes lênticos; e, b) até $0,050 \text{ mgL}^{-1}$, em ambientes intermediários, com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos de ambiente lêntico.

O Art. 16º discorre sobre os parâmetros que devem ser obedecidos para águas doces de classe 3:

I - condições de qualidade de água:

a) não verificação de efeito tóxico agudo a organismos, de acordo com os critérios estabelecidos pelo órgão ambiental competente, ou, na sua ausência, por instituições nacionais ou internacionais renomadas, comprovado pela realização de ensaio ecotoxicológico padronizado ou outro método cientificamente reconhecido;

b) materiais flutuantes, inclusive espumas não naturais: virtualmente ausentes;

c) óleos e graxas: virtualmente ausentes;

d) substâncias que comuniquem gosto ou odor: virtualmente ausentes;

e) não será permitida a presença de corantes provenientes de fontes antrópicas que não sejam removíveis por processo de coagulação, sedimentação e filtração convencionais;

f) resíduos sólidos objetáveis: virtualmente ausentes;

g) coliformes termotolerantes: para o uso de recreação de contato secundário não deverá ser excedido um limite de 2500 coliformes termotolerantes por 100 mililitros

em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras, coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral. Para dessedentação de animais criados confinados não deverá ser excedido o limite de 1000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras, coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral. Para os demais usos, não deverá ser excedido um limite de 4000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras coletadas durante o período de um ano, com periodicidade bimestral. A E. Coli poderá ser determinada em substituição ao parâmetro coliforme termotolerantes de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente;

h) cianobactérias para dessedentação de animais: os valores de densidade de cianobactérias não deverão exceder 50.000 cel/ml, ou 5mm³/L;

i) DBO 5 dias a 20°C até 10 mgL⁻¹O₂;

j) OD, em qualquer amostra, não inferior a 4 mgL⁻¹O₂;

l) turbidez até 100 UNT;

m) cor verdadeira: até 75 mg PtL⁻¹; e,

n) pH: 6,0 a 9,0.

... II - Padrões de qualidade de água:

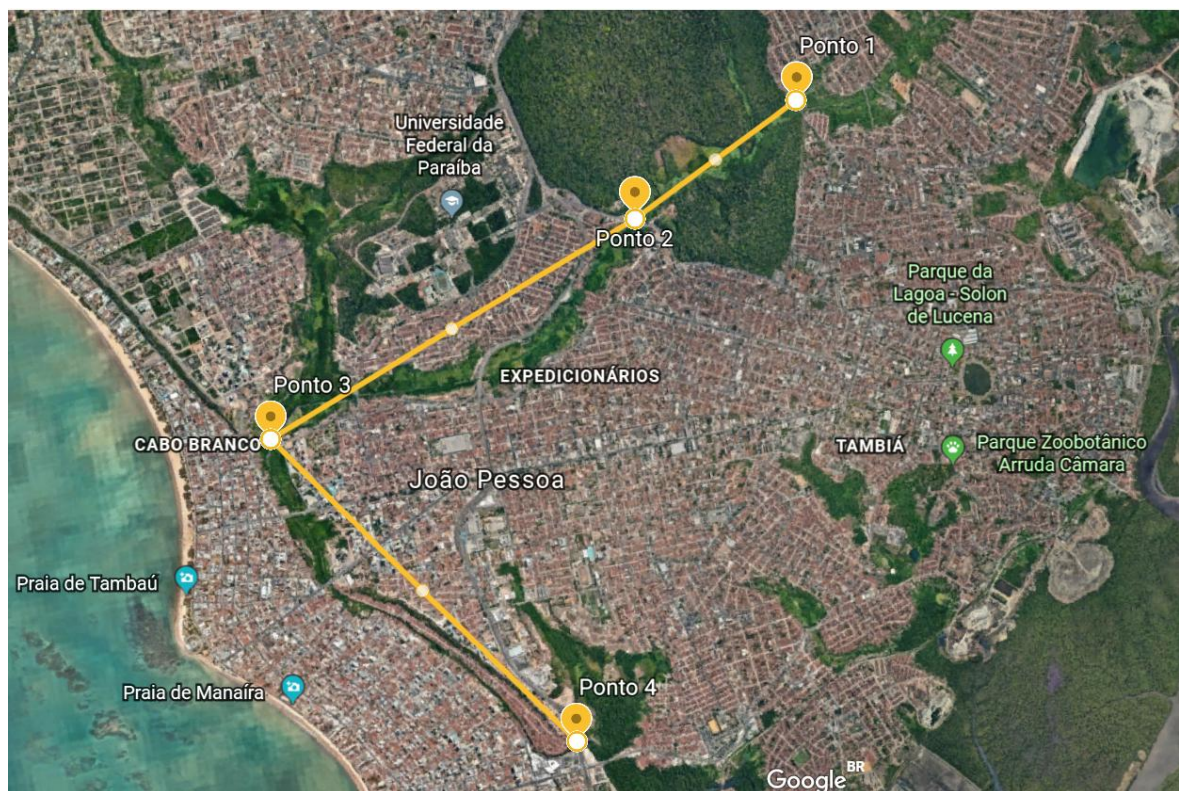
Fósforo total (ambiente lótico e ambientes intermediários): 0,15 mgL⁻¹P

5. METODOLOGIA

5.1 Pontos de Coleta da Água para Análise

Os dados de qualidade da água referidos neste trabalho foram obtidos da SUDEMA, que monitora o rio Jaguaribe através de 4 pontos de coleta estratégicos a mais de 25 anos. Os quatro pontos são apresentados na Figura 5 e suas coordenadas geográficas na Tabela 5.

Figura 5 - Pontos de Monitoramento do Rio Jaguaribe pela SUDEMA.



Fonte: Google Maps, 2019.

Tabela 5 - Coordenadas Geográficas dos pontos de coleta de água.

Ponto	Nome	Coordenadas
1	JB01	07°08'28.8" S 34°52'16.0" O
2	JB02	07°08'07.6" S 34°51'30.1" O
3	JB03	07°07'28.2" S 34°49'48.3" O
4	JB04	07°05'59.0" S 34°50'51.3" O

Fonte: SUDEMA, 2019

O ponto 1 (JB01) está localizado no bairro do Varjão - JP, na rua conhecida como Ladeira do Rangel, á montante da Mata do Buraquinho (Figura6 - a). Esse trecho do rio apresenta mau cheiro, coloração escura e não se observa a presença de peixes (Figura6 - b). Ao lado do ponto de coleta existe uma estação elevatória da CAGEPA onde não se sabe se o efluente doméstico que chega à mesma tem algum contato com o rio (Figura7).

Figura 6 - a) Localização do ponto JB01 na Ladeira do Rangel. b) Trecho do rio no ponto JB01.



Fonte: Autora, 2019.

Figura 7 - Estação elevatória da CAGEPA próximo ao ponto JB01.



Fonte: Autora, 2019.

O ponto 2 (JB02) localiza-se à jusante da Mata do Buraquinho, na Av.Dom Pedro II, em João Pessoa, próximo ao Instituto do Meio Ambiente e Recursos Naturais (Figura8). O trecho do rio encontra-se com aspecto mais límpido, sem odor e com presença de peixes (Figura9).

Figura 8- Localização do ponto JB02 na Av. Dom Pedro II.



Fonte: Autora, 2019.

Figura 9 - Trecho do rio no ponto JB02.



Fonte: Autora, 2019.

O ponto 3 (JB03) está localizado no bairro do Cabo Branco na Av. Ministro José Américo de Almeida. A Figura 10 é do momento da coleta do dia 15 de agosto de 2019. No local é possível observar diversas tubulações que dão direto ao rio nesse trecho, havendo assim um lançamento de efluente provavelmente de drenagem pluvial (Figura 11). A Figura 12 retrata a presença de macrófitas aquáticas no corpo d'água.

O trecho do rio faz parte do Parque Ecológico Jaguaribe criado por meio da Lei complementar nº 46, de 23 de julho de 2007 que determinou a mata ciliar, que compõe as margens do rio Jaguaribe, como um parque ecológico.

Figura 10 - Momento da coleta do ponto JB03 realizada pela SUDEMA no dia 15/08/2019. a) Localização na Av. José Américo de Almeida. b) Trecho do rio no ponto JB03.



Fonte: Autora, 2019.

Figura 11 - Lançamento de efluente no trecho do rio do ponto JB03.



Fonte: Autora, 2019.

Figura 12 - Visão do rio Jaguaribe do outro lado da ponte onde é feita a coleta da SUDEMA apontando a presença de macrófitas aquáticas no corpo d'água.



Fonte: Autora, 2019.

O ponto 4 (JB04) encontra-se na divisa de João Pessoa, próximo aos bairros de Manaíra e São José, e Cabedelo no bairro do Jacaré. O ponto de coleta acontece na Rodovia Governador Antônio de Mariz ao lado do Shopping Manaíra e da comunidade São José como pode ser observado na Figura 13. Observa-se coloração acinzentada na água, presença de animais e muito entulho as margens do rio (Imagem 14 e 15).

Figura 13- a) Localização do ponto JB04. b) Trecho do rio no ponto JB04



Fonte: Autora, 2019.

Figura 14 - Trecho do rio com presença de animais e entulho em suas margens.



Fonte: Autora, 2019.

Figura 15 - Trecho do rio no ponto JB04.



Fonte: Autora, 2019.

5.2 Parâmetros de Qualidade da Água Analisados

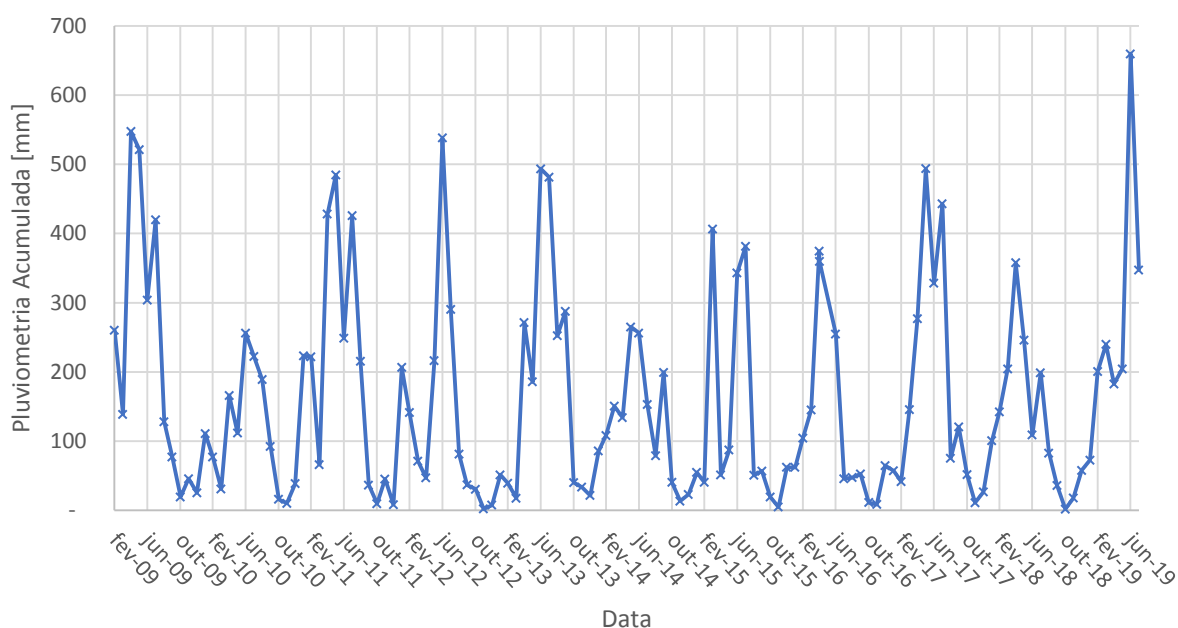
5.2.1 Parâmetros Físico-Químicos

Dentre os parâmetros físico-químicos que determinam a qualidade da água, os analisados neste estudo, foram; cor, turbidez, sólidos dissolvidos totais, condutividade elétrica, potencial hidrogeniônico, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio e coliformes termotolerantes. Os procedimentos de coleta, preservação, preparação e análise das amostras, seguiram o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1998). Os resultados das análises de uma janela temporal de 10 anos foram disponibilizados

pela SUDEMA, tabelados e plotados em gráficos utilizando Pacote Office 2016 pela autora do trabalho.

Além disso, foi considerada para a análise, os índices pluviométricos da região estudada, conforme mostrado na Figura 16, através dos valores disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET para a cidade de João Pessoa.

Figura 16 - Índice pluviométrico do período em estudo.



Fonte: INMET, 2019.

5.2.2 Índice de Qualidade da Água e Estado Trófico

Por meio do acompanhamento da coleta do rio Jaguaribe realizado pela CMA (Coordenadoria de Medições Ambientais), no dia 14 de agosto de 2019, a autora do referido trabalho pegou amostras de cada ponto do rio para análises de fósforo e nitrogênio. As análises foram realizadas no Laboratório de Tecnologia Química da Universidade Federal da Paraíba seguindo a metodologia do Kit da HACH LANGE para Fósforo Reativo Total e Nitrogênio Total. O procedimento para fósforo é o equivalente do Standard Method 4500-PE

(PhosphorusbyAscorbicAcid)para água contaminada e o de nitrogênio é realizado pelo método de digestão do persulfato.

O Índice de Qualidade da Água do rio para o dia 14 de agosto de 2019 foi calculado seguindo o passo a passo descrito no tópico 3.4 deste trabalho. É importante ressaltar que este índice varia bastante de acordo com o clima, com as características físicas e biológicas do meio e a morte de plantas aquáticas. Estes fatores tendem a alterar os teores de nitrogênio, fósforo, pH, OD, além de outros elementos sensíveis aos processos de oxirredução da matéria orgânica nos recursos hídricos. Assim, seria necessário um acompanhamento do IQA do rio ao longo do tempo para um estudo mais profundo, o estudo preliminar realizado nesta pesquisatem o intuito de ter uma ideia em que nível está a qualidade do corpo hídrico neste momento.

O cálculo do Índice de Estado Trófico com fósforo seguiu a metodologia de Lamparelli descrita no tópico 3.5 deste trabalho e, assim como o IQA, demonstra o estado do corpo hídrico no momento da coleta, para um estudo mais completo da situação do rio é necessário um acompanhamento do índice ao longo do tempo.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

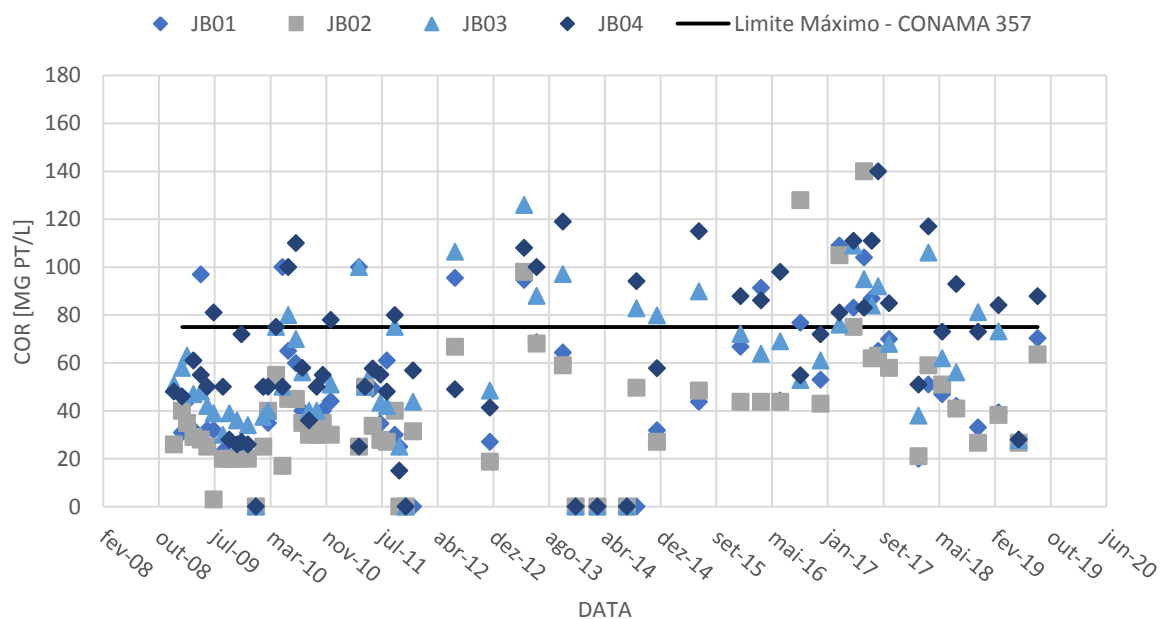
6.1 Avaliação do Rio Jaguaribe ao Longo de 10 anos.

Com o objetivo de constatar se os valores dos parâmetros monitorados pela SUDEMA através da Coordenadoria de Medições Ambientais (CMA) no decorrer de 10 anos estão de acordo com os padrões de qualidade da água estabelecidos na legislação do CONAMA 357/2005 para águas doces de classe 2 e 3 e observar o desenvolvimento do rio ao longo do tempo, gráficos com variação temporal para cada parâmetro foram plotados e analisados.

Cor

Com relação ao parâmetro cor, de acordo com o CONAMA nº 357/2005 que estabelece um limite de 75mg/L PT/Co, apenas 24% dos dados obtidos ao longo dos 10 anos, para todos os pontos ao longo do rio, estão fora do permitido pela legislação, sendo destes 58,9% nos últimos cinco anos. Ou seja, houve um aumento do número de valores acima do permitido pela resolução nos últimos anos (Figura 17).

Figura 17- Variação Temporal da Cor da Água para todos os pontos de 2009 a 2019.



As Figuras 18 a 21 retratam o parâmetro cor para cada ponto de coleta onde pode-se observar com mais clareza uma melhora do corpo hídrico do ponto JB01 ao JB02 (menos pontos acima do permitido pela legislação no período analisado) que está relacionado com a melhora da capacidade de autodepuração do rio ao passar pela Mata do Buraquinho. Posteriormente, existe uma piora nos pontos JB03 e JB04 que pode estar relacionado com a maior pressão antropogênica nesses pontos.

Figura 18 - Variação Temporal da Cor da Água no ponto JB01.

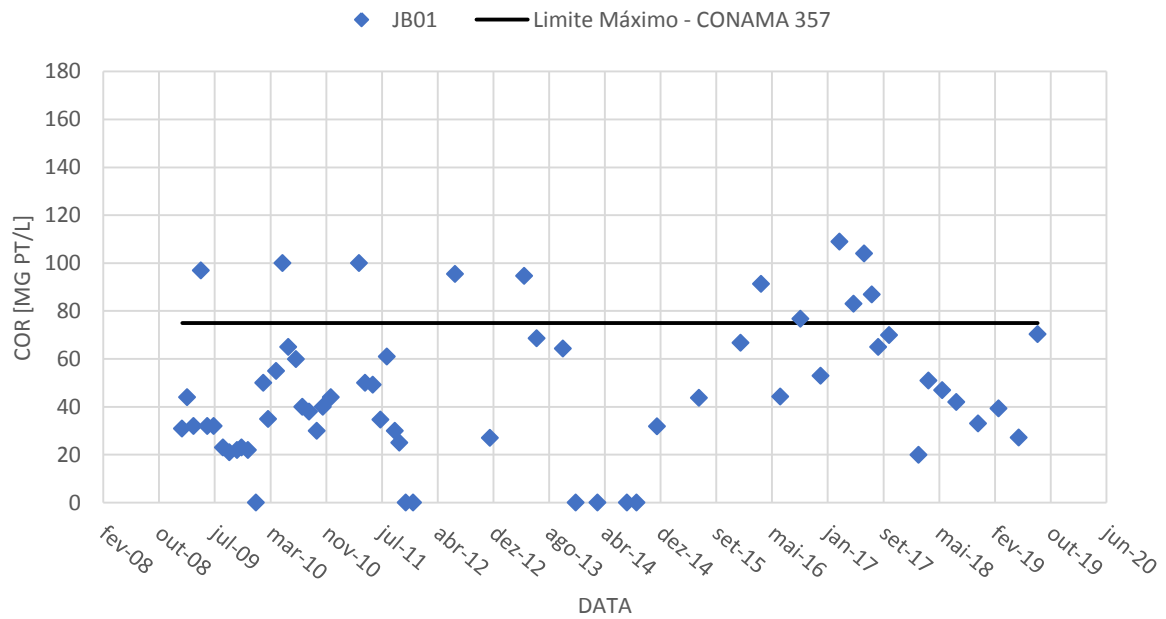


Figura 19 - Variação Temporal da Cor da Água no ponto JB02.

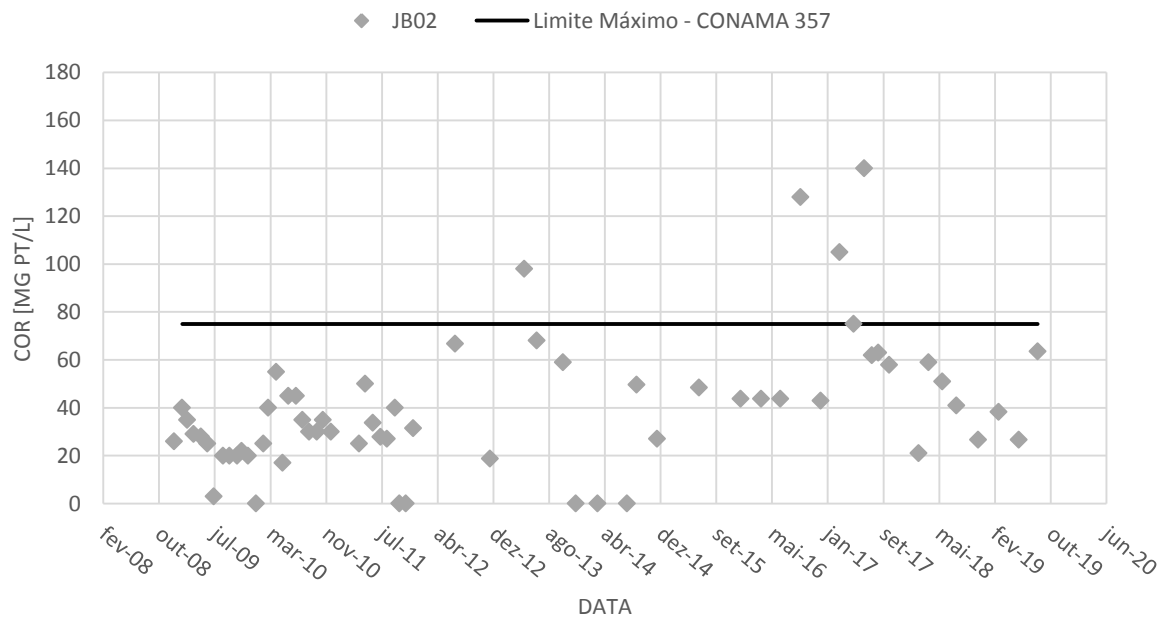


Figura 20 - Variação Temporal da Cor da Água no ponto JB03.

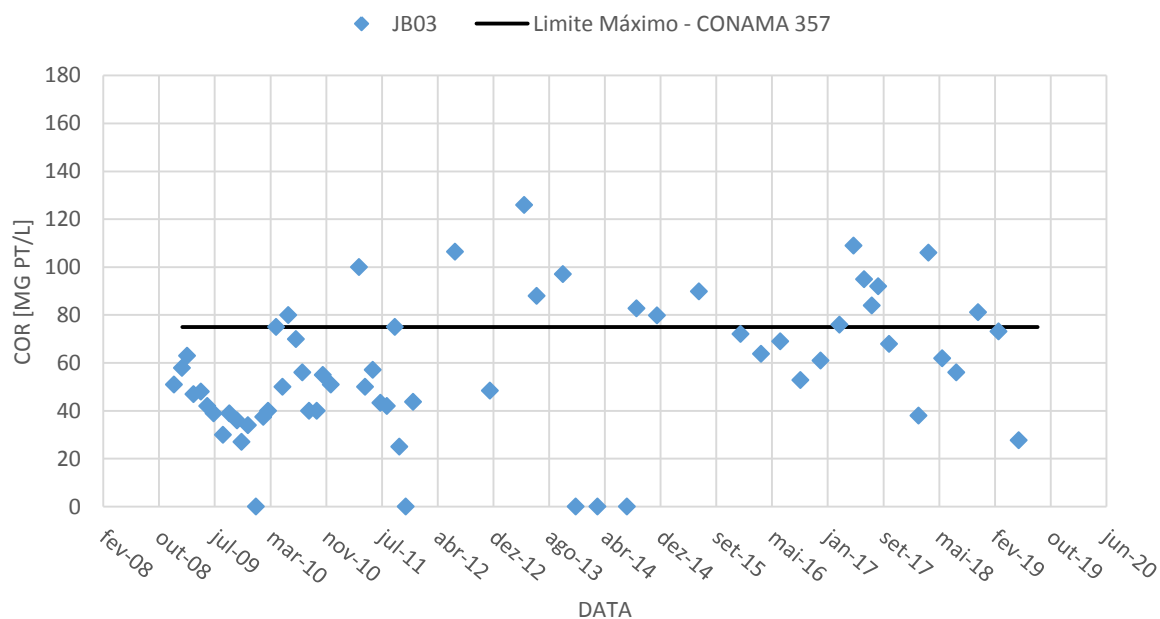
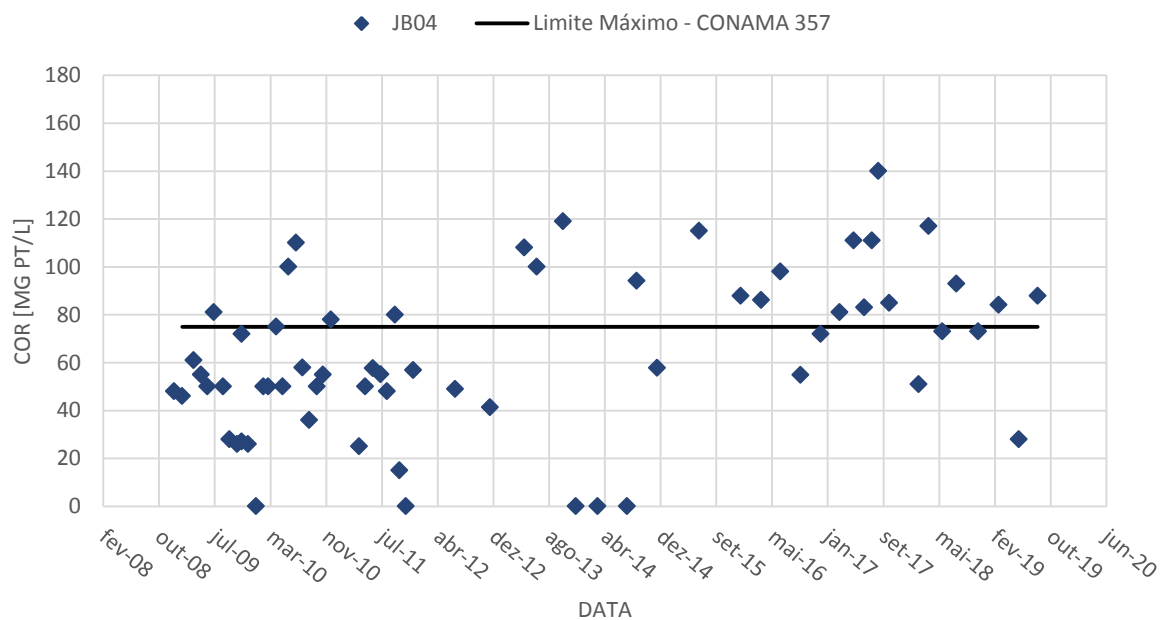


Figura 21 - Variação Temporal da Cor da Água no ponto JB04.

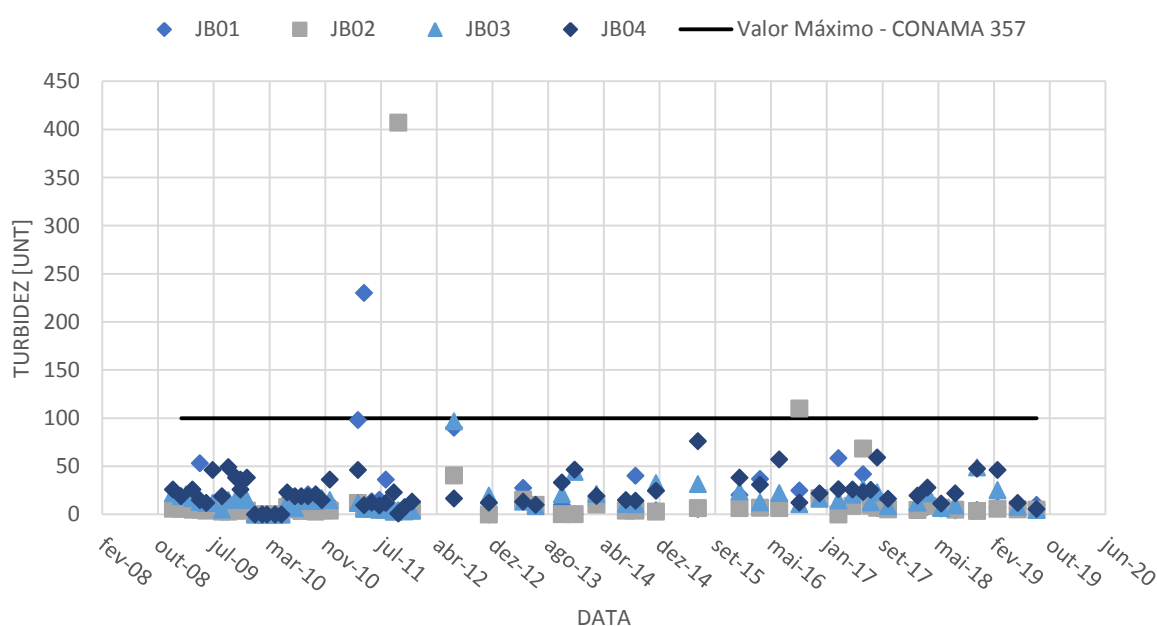


Turbidez

Os valores do parâmetro turbidez estão em acordo com o exigido pela Resolução do CONAMA n° 357/2005, para ambas as classes 2 e 3, de 100 UNT (Figura 22). O valor de 230 UNT em 2011, encontra-se isolado ao longo dos dez anos analisados podendo ser justificado por um erro sistemático de amostragem, aferição, transcrição de dados ou um acontecimento pontual, esporádico no dia/mês da coleta que fez com que a amostra apresentasse uma maior quantidade de material em suspensão.

Observa-se que o ponto JB04 apresenta-se com os maiores valores de turbidez que pode ser justificado pela maior erosão, retirada de mata ciliar consequente assoreamento do rio neste ponto.

Figura 22 -Variação Temporal da Turbidez da Água de 2009 a 2019.

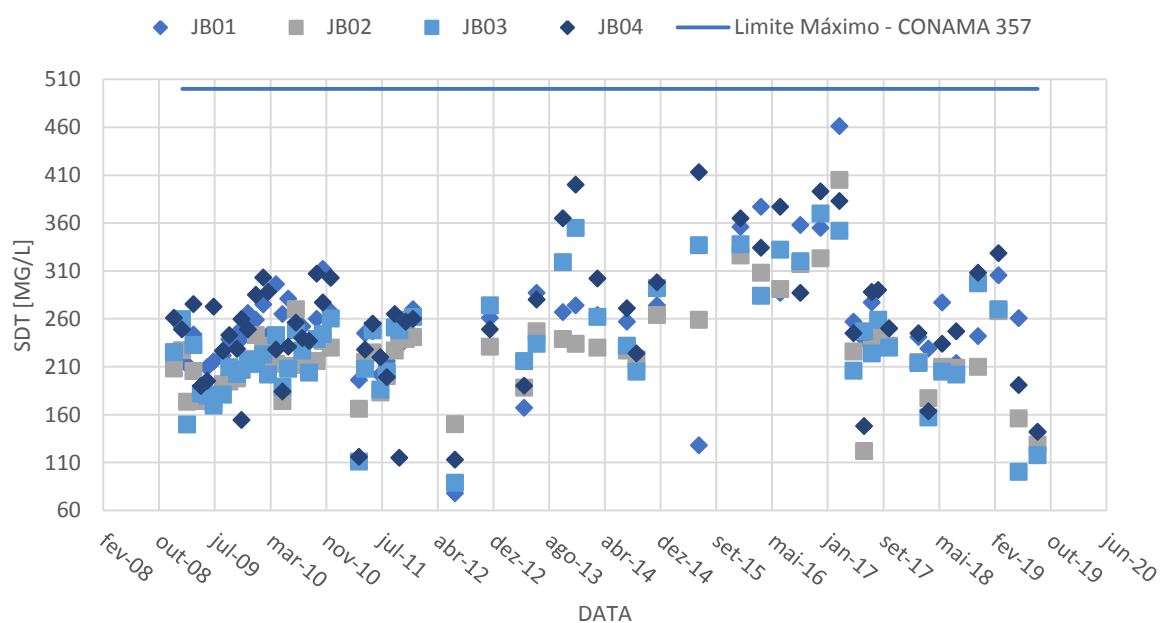


Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)

A Resolução do CONAMA n°357 estabelece um limite de 500mg/L de sólidos dissolvidos totais, para ambas as classes 2 e 3, e como pode ser observado na Figura 23, os valores, dentro da janela temporal estudada, estão de acordo com a legislação.

O valor máximo encontrado ao longo da janela temporal estudada foi de 466mg/L no ponto JB01 e o mínimo foi de 78mg/L no mesmo ponto. Apesar do ponto JB01 obter o valor máximo de SDT, observa-se que o ponto JB04 destaca-se com os valores mais elevados, em relação aos outros três pontos, em quase todos os dias de coleta.

Figura 23 - Variação Temporal dos SDT da Água de 2009 a 2019.



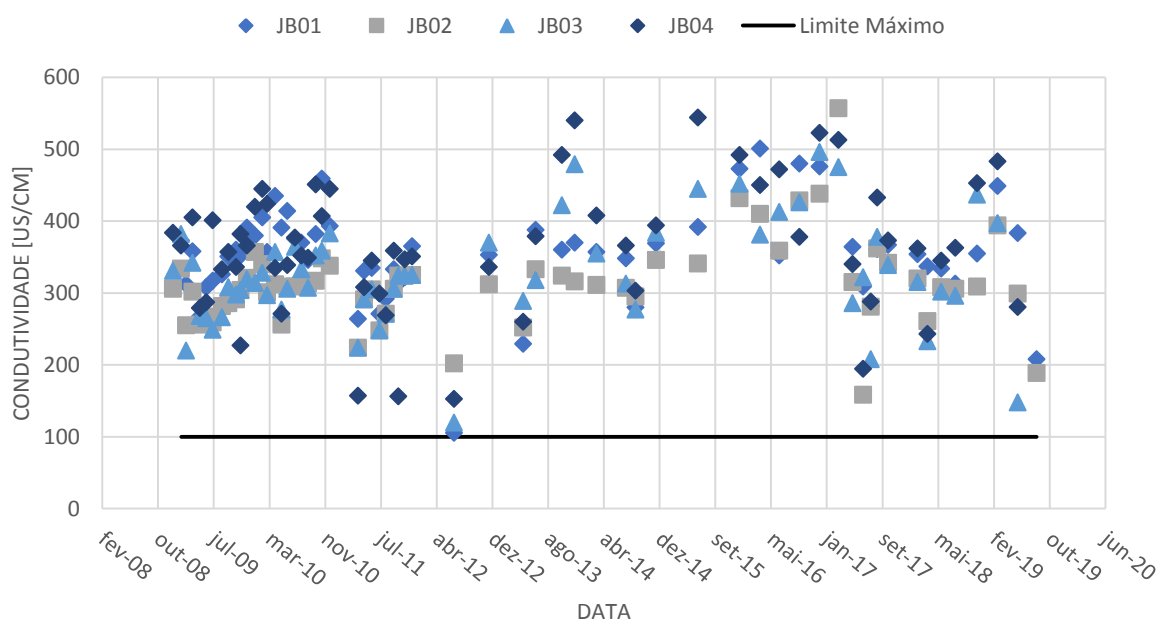
Condutividade Elétrica

Para o estudo do rio Jaguaribe, os valores de condutividade elétrica variaram de 105,5 $\mu\text{S/cm}$ a 557 $\mu\text{S/cm}$, na série de dez anos (Figura 24). A resolução do CONAMA nº357/2005 não define valores máximos permitidos para este parâmetro, porém, segundo a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB (2009), valores superiores a 100 $\mu\text{S/cm}$, indicam ambientes impactados.

Segundo Tundisi e Matsumura Tundisi (2008) os valores de sólidos totais dissolvidos (STD) tem correlação direta e proporcional com a condutividade elétrica devido a concentração de íons presente nas amostras. Isto explica o fato de os parâmetros apresentarem comportamentos semelhantes, diferenciando-se apenas pela condutividade apresentar valores um pouco mais elevados. Considerando o limite de 100 $\mu\text{S/cm}$, os valores demonstram que o

rio já mostrava sinais de poluição há 10 anos e ao longo do tempo sua crescente dispersão pode estar relacionada a descarga de poluentes.

Figura 24 - Variação Temporal da Condutividade da Água de 2009 a 2019.



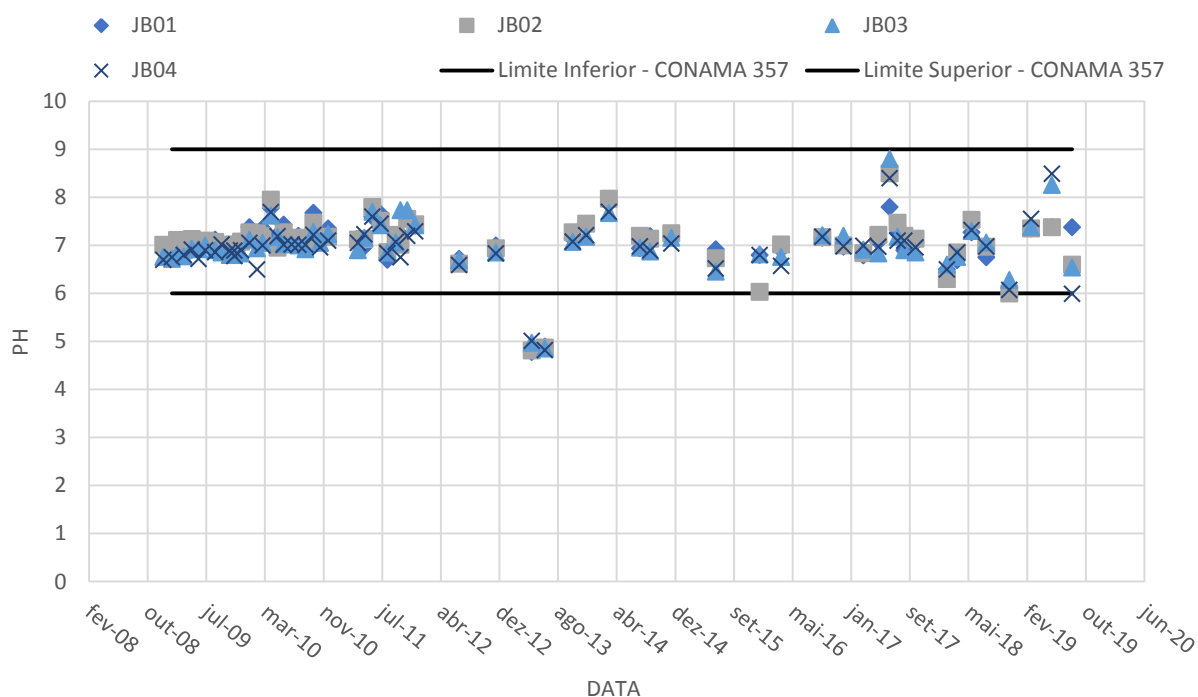
No geral, no decorrer dos pontos no rio, os parâmetros condutividade, sólidos totais dissolvidos e turbidez apresentaram maiores índices no JB04, localizado entre os bairros de Manaíra e São José. Assim como no parâmetro cor, os dados de condutividade elétrica também demonstram uma melhora no corpo hídrico do ponto JB01 para o JB02.

Potencial Hidrogeniônico (pH)

Os valores de pH, mantiveram-se dentro da faixa estabelecida pela legislação para ambas as classes 2 e 3 ($6 \leq \text{pH} \leq 9$) com exceção de alguns dias onde o mesmo mostrou-se levemente ácido (Figura25). Constatase que o pH se torna menos uniforme ao longo dos anos, o que pode ser um indicativo de que as propriedades físico-químicas do rio estão sendo alteradas por fatores de origem antrópica.

Segundo Carvalho, Schlittler e Tornisielo (2000), o pH tende a subir e aproximar-se da neutralidade com o aumento das chuvas, pois ocorre maior diluição dos compostos dissolvidos, fazendo com que a acidez da água diminua, o que pode justificar as variações de pH em épocas de chuva.

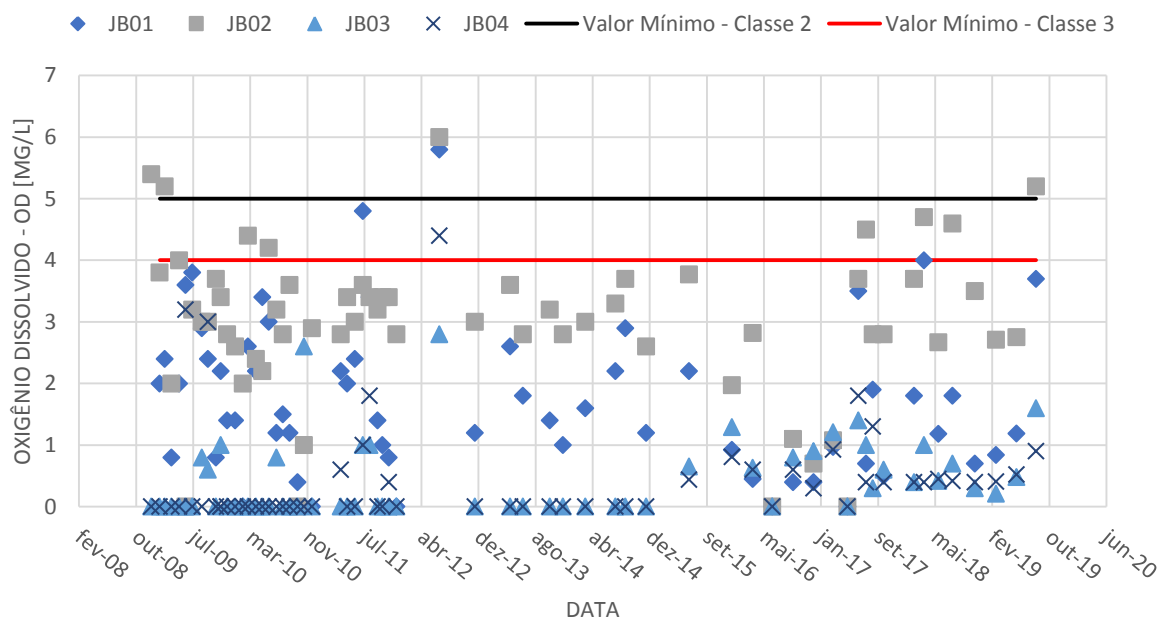
Figura 25 - Variação Temporal do pH da Água de 2009 a 2019.



Oxigênio Dissolvido (OD)

Para o parâmetro oxigênio dissolvido observa-se, a partir do Figura26, que a grande maioria dos valores está em desacordo com o que pede a Resolução do CONAMA n°357 para águas doces de classe 2 e 3, que estabelece um mínimo de 5mg.L^{-1} e 4mg.L^{-1} , respectivamente.

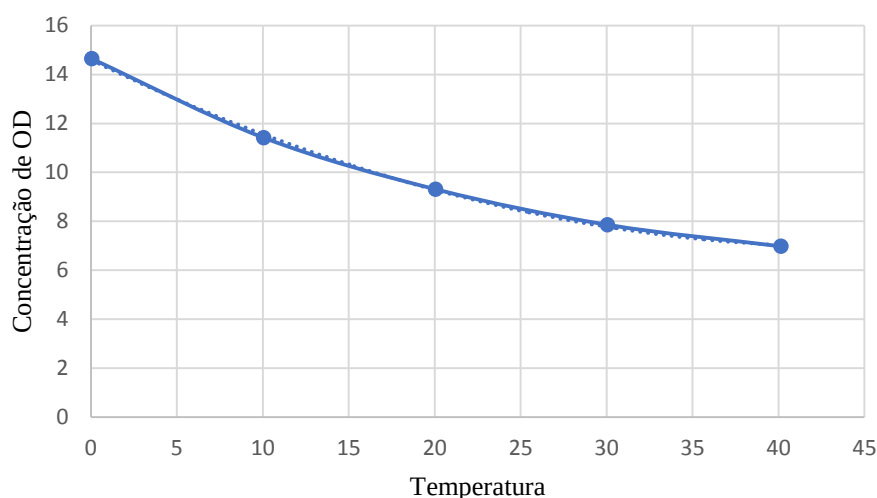
Figura 26 - Variação Temporal do OD da Água de 2009 a 2019.



Apesar da baixa concentração de oxigênio dissolvido, observa-se claramente que o ponto JB02 obtêm as maiores concentrações de oxigênio dissolvido mostrando assim que ao passar pela mata do buraquinho o rio tem uma acentuada melhora em sua oxigenação (comparando com o ponto JB01). Os pontos JB03 e JB04 encontram-se no final do percurso do rio por dentro da cidade, passando por bairros e assentamentos populosos, assim, acumulando toda matéria orgânica proveniente da mesma, o que pode justificar os menores valores de OD dessas amostras que já se encontram em situação de hipóxia.

Deve-se considerar a dependência da concentração de oxigênio dissolvido em função da temperatura conforme a Figura 27 apresentada abaixo.

Figura 27 - Curva da concentração máxima de OD em função da temperatura em um corpo hídrico de acordo com a Lei de Henry.



A Tabela 6 mostra a concentração máxima de oxigênio dissolvido para a temperatura média de cada ponto de coleta relatado neste trabalho. Observa-se que não uma variação significativa de OD apesar da variação de temperatura ao longo do rio.

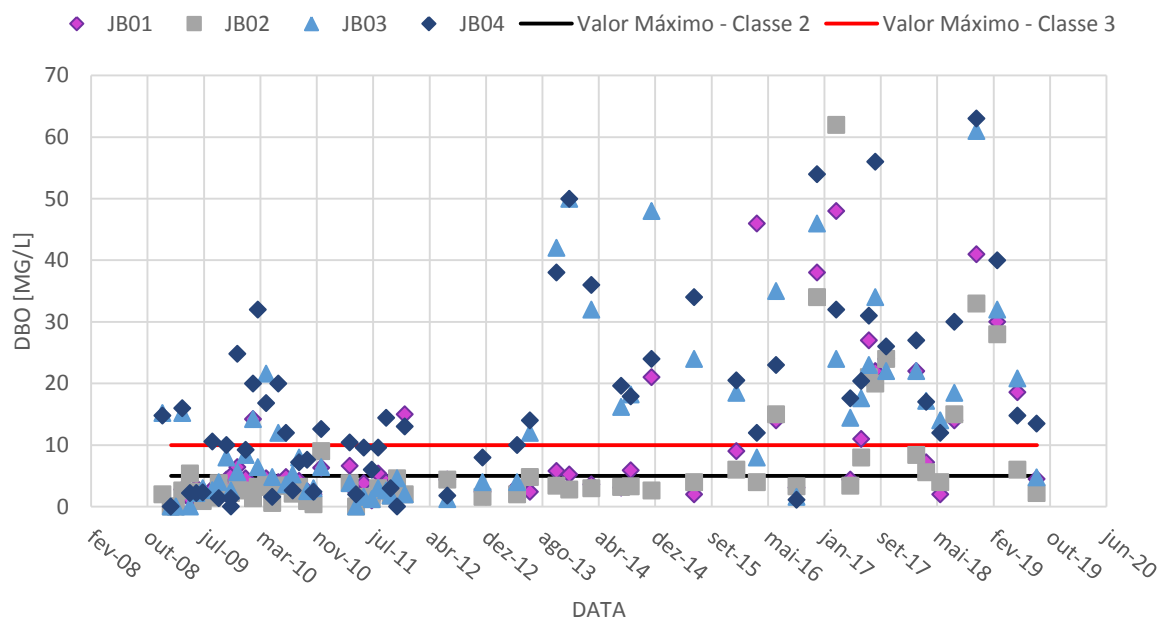
Tabela 6 - Concentração máxima de OD em função da temperatura para cada ponto de coleta.

	JB01	JB02	JB03	JB04
T [°C]				
	27,20	26,70	27,70	28,00
OD [mg/L]				
	8,11	8,18	8,04	8,00

Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

A DBO apresentou valores acima do permitido pela Legislação do CONAMA nº357/2005 que indica concentrações máximas de 5mg/L e 10mg/L para água doce de classe de 2 e 3, respectivamente. Observa-se novamente uma melhora do corpo hídrico do ponto JB01 ao JB02 agora referente ao parâmetro DBO, além da piora nos pontos JB03 e JB04. (Figura 28)

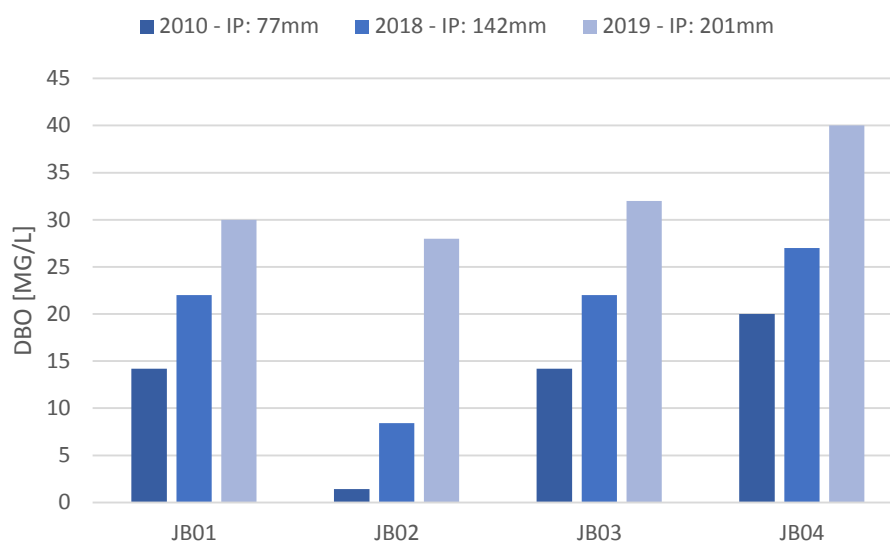
Figura 28 - Variação Temporal de DBO da Água de 2009 a 2019.



Como observado na Figura 26 (referente ao monitoramento de OD) os valores de oxigênio dissolvido tiveram uma leve mudança positiva nos pontos JB03 e JB04 a partir de 2014 em contra partida, os valores de DBO a partir de 2013 aumentaram consideravelmente, o que pode ser um indicativo de que o rio passou/tem passado pelo processo de eutrofização.

Observa-se na Figura 29 que ao longo dos anos (2010, 2018 e 2019) o mesmo ponto coletado, em determinado mês, apresenta um aumento de DBO mesmo com o índice de pluviometria acumulada no mês também em aumento. Ou seja, mesmo com o aumento da capacidade de diluição do rio em determinadas épocas é possível ver um aumento de DBO ao longo dos anos.

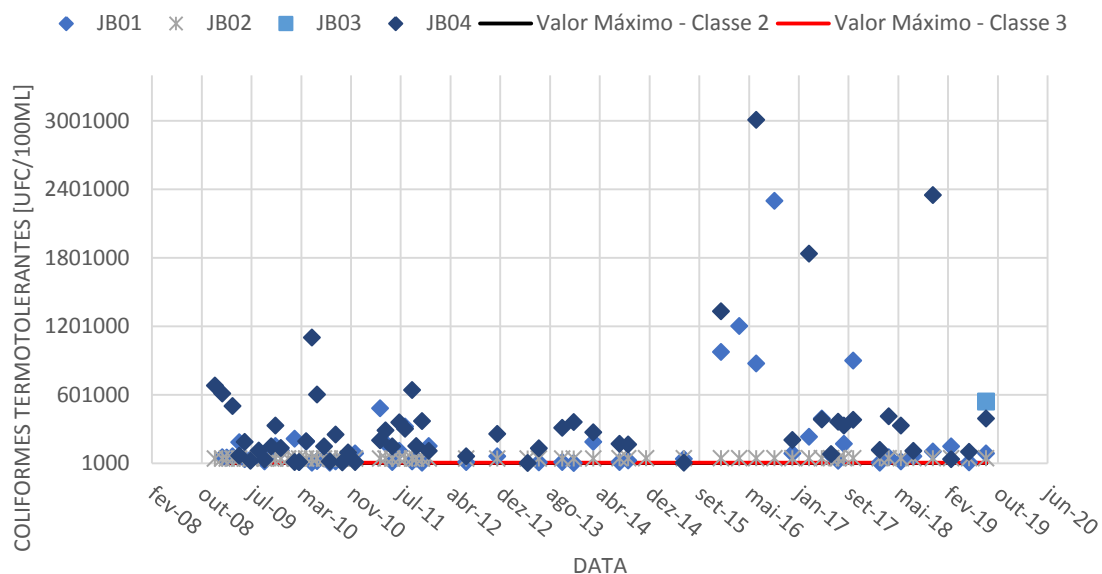
Figura 29 - Comparação dos valores de DBO no mês de fevereiro para cada ponto de coleta nos anos de 2010, 2018 e 2019 e seu respectivo índice pluviométrico.



Coliformes Termotolerantes

Os valores de coliformes termotolerantes estão majoritariamente acima do permitido pela resolução do CONAMA nº357/2005 que exige até 1000UFC/100ml e 4000UFC/100ml para água doce de classe 2 e 3, respectivamente (Figura 30). Os altos valores de coliformes termotolerantes presentes na água são um indicativo de que esgotos domésticos sem tratamento vêm sendo jogado no rio a mais de dez anos.

Figura 30 - Variação Temporal de Coliformes Termotolerantes no corpo hídrico em todos os pontos de 2009 a 2019.



Através das Figuras 31 a 34 observa-se os valores do parâmetro coliformes termotolerantes para cada ponto estudado ao longo do rio. O ponto JB02 apresenta, no geral, uma menor concentração de coliformes termotolerantes em relação ao ponto JB01, ao longo de toda janela temporal estudada, demonstrando, mais uma vez, a melhora do corpo hídrico ao passar pela Mata do Buraquinho. Assim como a DBO e o OD, o parâmetro coliforme termotolerantes obteve maior influência no ponto JB04, que pode ser justificado pela sua proximidade com comunidades ribeirinhas.

Figura 31 - Variação Temporal de Coliformes Termotolerantes do ponto JB01.

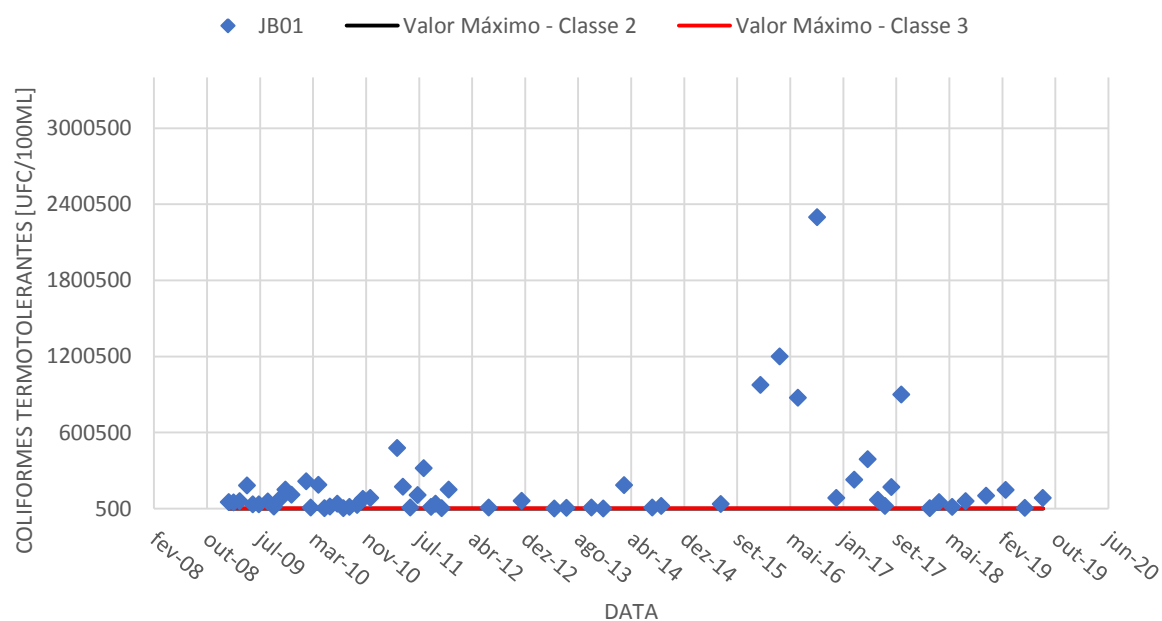


Figura 32- Variação Temporal de Coliformes Termotolerantes do ponto JB02.

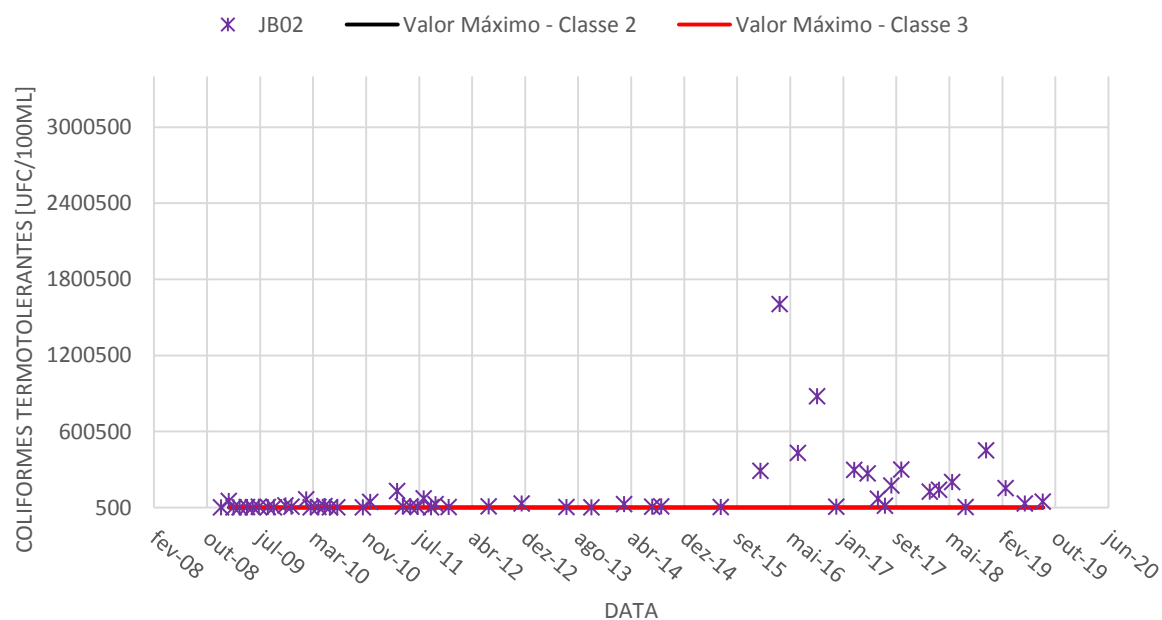


Figura 33 - Variação Temporal de Coliformes Termotolerantes do ponto JB03.

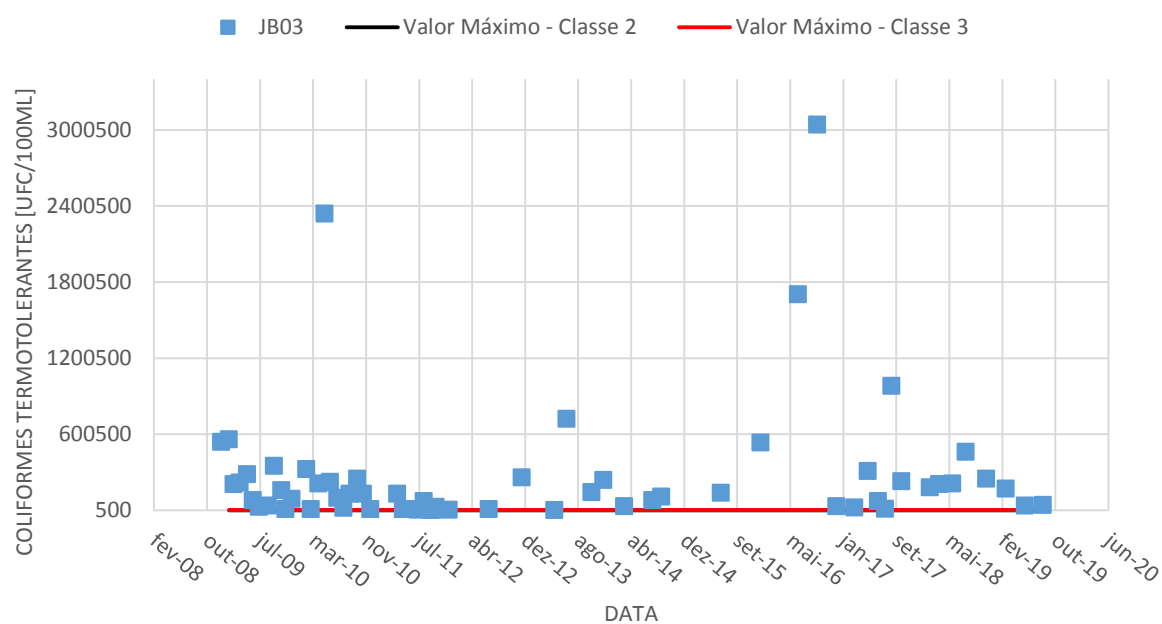
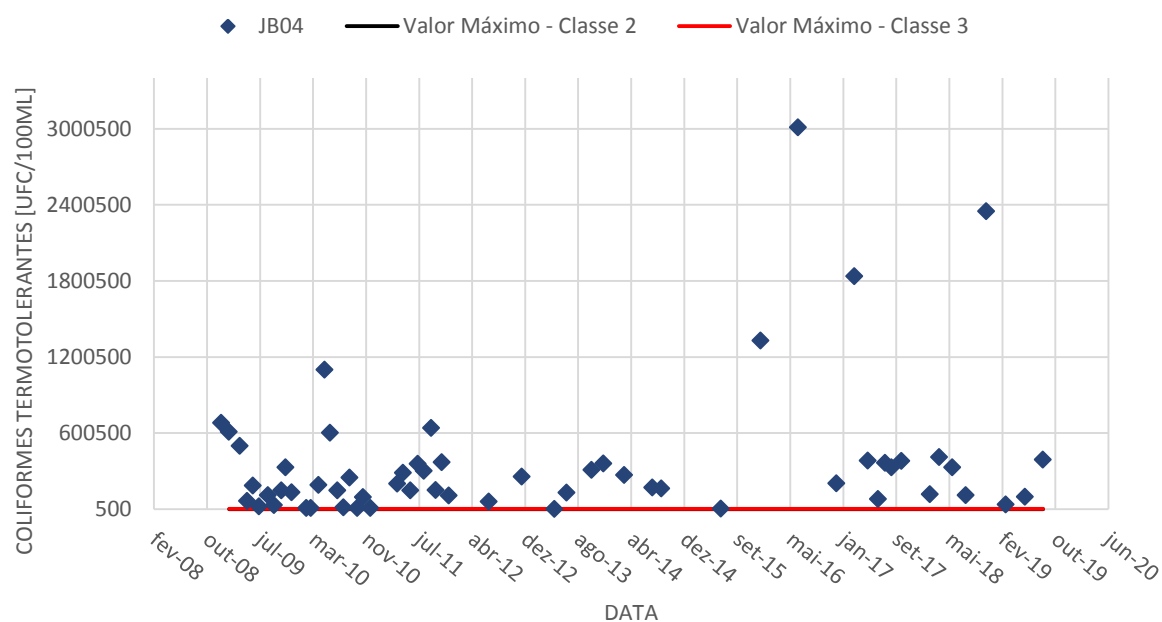


Figura 34 - Variação Temporal de Coliformes Termotolerantes do ponto JB04.



6.2 Índice de Qualidade da Água

Os parâmetros utilizados no cálculo do IQA são, em sua maioria, indicadores de contaminação causados pelo lançamento de esgotos domésticos, por isso sua escolha para avaliar a qualidade do Rio Jaguaribe apesar dele hoje não ser mais destinado ao abastecimento público. Os valores dos parâmetros da coleta do dia 15/08/2019 estão apresentados na Tabela 7 e o resultado do Índice de Qualidade da Água para cada ponto do rio Jaguaribe calculado com eles apresentam-se na Tabela 8 com sua respectiva classificação.

Tabela 7 - Valores dos parâmetros utilizados para o cálculo do IQA.

Amostra/Parâmetros	JB01	JB02	JB03	JB04
Temperatura	26	25	27	26
Turbidez	9,74	4,85	4,45	5,71
pH	6,7	6,6	6,54	5,99
Sólidos Totais	141,8	128,6	117,7	142
OD	3,7	5,2	1,6	0,9
DBO	4,52	2,22	4,76	13,49
Nitrogênio	1,2	1,4	0,2	2,9
Fósforo	0,66	0,64	0,98	1,55

Tabela 8- IQA de cada ponto no dia 15/08/2019 com sua determinada classificação.

Ponto	IQA	Classificação
JB01	36,95	Razoável/Ruim
JB02	41,68	Razoável
JB03	31,32	Ruim
JB04	27,46	Ruim

A partir da Tabela 8 observa-se melhores níveis de qualidade da água nos dois primeiros pontos e os piores nos dois últimos. Confirma-se o que se destacou nos parâmetros analisados ao longo dos dez anos; que há uma melhora na qualidade do rio após passar pela

Mata do Buraquinho (ponto JB01 para o JB02) e que os pontos JB03 e JB04 apresentam situação preocupante na qualidade do seu corpo d'água o que pode ser justificado pelas suas localizações serem em bairros populosos e acompanharem comunidades ribeirinhas.

6.3 Índice de Estado Trófico - IET

De acordo com a Equação 5 e a Tabela 4 os valores para o IET foram calculados e classificados segundo Lamparelli. Os resultados encontram-se na Tabela 9.

Tabela 9 - Resultados de IET para o dia 15/08/2019 de acordo com Lamparelli para ambientes lóticos.

Ponto	Fóforo	IET	Classificação
JB01	0,66 mg/L	67,66	Supereutrófico/Hipereutrófico
JB02	0,64 mg/L	67,69	Supereutrófico/Hipereutrófico
JB03	0,98 mg/L	69,71	Hipereutrófico
JB04	1,55 mg/L	72,1	Hipereutrófico

De acordo com a classificação de Lamparelli, todo o percurso do rio Jaguaribe estudado encontra-se em situação de hipertrofia. A eutrofização levou a alterações no odor, turbidez e na cor da água além da redução do oxigênio dissolvido.

O alto nível de trofia do corpo d'água pode estar sendo um dos intensificadores para que parâmetros como turbidez, OD e condutividade estejam alterados e, ao mesmo tempo, é uma consequência dos altos valores de DBO.

7. CONCLUSÃO

Analisando os parâmetros físico-químicos de qualidade da água do rio Jaguaribe disponibilizados pela SUDEMA em quatro pontos estratégicos, ao longo de 10 anos, conclui-se que o rio se encontra poluído a mais de uma década. Parâmetros indispensáveis para a boa qualidade de um corpo hídrico encontram-se em não conformidade com os padrões e condições de água doce para as classes 2 e 3, especificadas na Resolução do CONAMA nº 357/2005 em toda janela temporal estudada.

As análises de fósforo e nitrogênio possibilitaram os cálculos do IQA e IET. Os resultados ratificaram o que foi visto através das análises dos parâmetros ao longo de 10 anos; o rio encontra-se em situação preocupante onde seu corpo d'água foi classificado como razoável/ruim além de indicar alto grau de trofia.

Os resultados evidenciados nesta tese indicam a contaminação do rio Jaguaribe por meio de lançamentos de esgotos e acúmulo de lixo em suas margens. A retirada da mata ciliar ao longo do seu percurso mostrou-se contribuir para a diminuição da capacidade de autodepuração do rio visto que ele tem uma melhora na sua qualidade ao passar por dentro da Mata do Buraquinho, onde a mata ciliar em suas margens é preservada. A ocupação desregulada às margens do rio Jaguaribe e as diversas intervenções em seu corpo mostraram-se intensificar a má qualidade da sua água, visto que os pontos JB03 e JB04 (os que mais sofreram com essas intervenções antropogênicas) apresentaram os piores valores de IQA.

O rio Jaguaribe está sendo poluído de uma forma contínua ao longo dos dez anos estudados neste trabalho constituindo um problema ambiental grave. Apesar do governo admitir a necessária revitalização do curso do rio ainda há muito a se fazer por parte dele e da população em geral para que alguma melhora possa ser vista na qualidade da água do rio.

Algumas soluções para incentivar a recuperação do rio da degradação hídrica relatada neste estudo são; projetos de educação ambiental e atividades higiênicas para a população ribeirinha, implantação de sistemas de drenagem de águas pluviais mais efetivo para impedir que areias e lixo sejam carregadas para dentro do rio, revitalização da mata ciliar do rio, revisão e implementação da rede coletora de esgotos ao longo de sua bacia, coleta de lixo diária nos bairros próximos ao rio e a retirada dos moradores em suas margens.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Brasil produz mais lixo mas não avança em coleta seletiva**. Disponível em: <www.abrelpe.org.br/brasil-produz-mais-lixo-mas-nao-avanca-em-coleta-seletiva/>.

Acesso em: 27 de Julho 2019.

American Public Health Association – American Water Works Association. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20.ed. USA: Washington, D. C, APHA-AWWA-WEF, 1998.

ANA. Agência Nacional das Águas. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil**. Brasília, 2011.

ANA. Agência Nacional das Águas. **Monitoramento da Qualidade da Água em Rio e Reservatórios**. 2019.

ANA. Agência Nacional das Águas. Portal da Qualidade da Água. **Enquadramento – Bases Conceituais**. Brasília/DF. Disponível em: <www.pnqa.ana.gov.br/enquadramento-bases-conceituais.aspx>. Acesso em: 27 de Julho 2019.

ANA. Agência Nacional das Águas. **O Atlas Esgotos: Despoluição das Bacias Hidrográficas**. Brasília/DF, Brasil. Atlas de 2017.

ANA. Portal de Qualidade das Águas. **Indicadores de Qualidade – Índice de Qualidade da Água (IQA)**. Disponível em: www.pnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx. Acesso em: 31 de Julho de 2019.

BRASIL. **Lei n.º 9.433, 8 de janeiro de 1997**. Presidência da República: Casa Civil. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm>. Acesso em 26 de Julho 2019.

CARVALHO, A.R.; SCHLITTLER, F.H.M.; TORNISIELO, V.L. 2000. **Relações da atividade agropecuária com parâmetros físicos químicos da água**. Disponível em <www.s bq.org.br/publicacoes/quimicanova/qnol/2000/vol23n5/08.pdf> Acesso em 26 de Agosto de 2019.

CETESB-SP. **Relatório de Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo – 2018/Apêndice D–Índice de Qualidade das Águas**. 2018. Disponível em: www.cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-

content/uploads/sites/12/2017/11/Ap%C3%AAndice-D-%C3%8Dndices-de-Qualidade-das-%C3%81guas.pdf. Acesso em: 31 de Julho de 2019.

CETESB-SP. **Relatório de Qualidade das Águas Superficiais no Estado de São Paulo 2014 | Apêndice D - Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade.** 2014. Disponível em: www.cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/Ap%C3%AAndice-D-Significado-Ambiental-e-Sanit%C3%A1rio-das-Vari%C3%A1veis-de-Qualidade-29-04-2014.pdf. Acesso em: 30 de Julho de 2019.

CONAMA. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº 357**, ano 2005. Disponível em: <www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acesso em 26 de Julho de 2019.

COUTINHO. Marco Antônio Farias. **Evolução urbana e qualidade de vida: o caso da av. Epitácio Pessoa.** 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.

DIEB, Marília; MARTINS, Paula. **O Rio Jaguaribe e a história urbana de João Pessoa/Pb: da harmonia ao conflito.** São Paulo, 2017.

GADELHA NETO, Pedro da Costa. **Interpretação preliminar das estações educativas das trilhas do Rio e da Preguiça.** João Pessoa: Jardim Botânico Benjamim Maranhão, 2004.

JOÃO PESSOA. **Decreto N.º 6.499, de 20 de março de 2009.** Consolida a lei complementar n.º 054, de 23 de dezembro de 2008, às disposições da Lei Complementar n.º 03 de 30 de Dezembro de 1992. Plano Diretor de João Pessoa de 2009. Disponível em <<http://www.joaopessoa.pb.gov.br/portal/wp-content/uploads/2012/04/planodiretor2009.pdf>> Acesso em: 19 agosto de 2019.

JOÃO PESSOA. **Lei Complementar n.º 3, de 30 de dezembro de 1992.** Plano Diretor da cidade de João Pessoa. Disponível em <<http://www.joaopessoa.pb.gov.br/secretarias/seplan/plano-diretor/>> Acesso em: 7 agosto de 2019.

LAMPARELLI , M. C. **Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento.** São Paulo : USP/ Departamento de Ecologia., 2004. 235 f. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, 2004.

LIBOS, M.; ROTUNNO FILHO, O.C.; ZEILHOFER, P. (2003) **Modelagem da poluição não pontual na bacia do rio Cuiabá baseada em Geoprocessamento**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 8, n. 4, p. 113-135

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Vigilância e Controle da Qualidade da Água para Consumo Humano**. Brasília/DF, 2006.

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

ONU. **A ONU e a água**. Disponível em: <www.nacoesunidas.org/acao/agua/>. Acesso em 26 de Julho de 2019.

PARRON, L.M; MUNIZ, D.H.F; PEREIRA, C.M. **Manual de Procedimentos e Amostragem e Análise Físico-Química de Água**. Documentos n. 232, Embrapa, 2011.

SELAP. Sistema Estadual de Licenciamento de Atividades Poluidoras. **DZS-205 Enquadramento dos Corpos d'água da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba**. Sudema, 1988.

SMITH, V. H. & SCHINDLER, D. W. **Eutrophication science: where do we go from here?**. Trends in Ecology & Evolution, 2009.

SUDEMA - Superintendência de Administração do Meio Ambiente. **Relatório Técnico da CAGEPA**, 2018. 13 pg.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA TUNDISI, T. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 632 p

DIEB, M.A.; MARTINS, P.D. **O rio Jaguaribe e a história urbana de João Pessoa/Pb: da harmonia ao conflito**.XIIV ENANPUR, São Paulo, 2017. Disponível em: <www.anpur.org.br/xviienanpur/principal/publicacoes/XVII.ENANPUR_Anais/ST_Sessoes_Tematicas/ST%207/ST%207.8/ST%207.8-03.pdf>. Acesso em: 30 de agosto de 2019.

UNESCO WWAP (United Nations World Water Assessment Programme). **Water for People, Water for Life**.1ªedição do United Nations World Water Development Report , 2003.Disponível em:<www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/water/wwap/wwdr/wwdr1-2003/>.Acesso em: 27 de julho 2019.

UNESCO. Relatório Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2017. **Fatos e Números – Águas Residuais o Recurso Inexplorado**. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247553_por>. Acesso em 29 de julho de 2019.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3ª edição. Editora da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG – Belo Horizonte, 2005