

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
MESTRADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
MODALIDADE PROFISSIONAL

**ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DO BAIXO PARAÍBA DO SUL, NO TRECHO
CAMPOS DOS GOYTACAZES – SÃO JOÃO DA BARRA – RJ,
POR MEIO DO ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA (IQA) E ÍNDICE DE ESTADO
TRÓFICO (IET)**

LUANA SANTANA CINTRA

Macaé/RJ
2020

LUANA SANTANA CINTRA

ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DO BAIXO PARAÍBA DO SUL, NO TRECHO
CAMPOS DOS GOYTACAZES – SÃO JOÃO DA BARRA – RJ,
POR MEIO DO ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA (IQA) E ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO
(IET)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, área de concentração Sustentabilidade Regional, linha de pesquisa Avaliação, Gestão e Conservação Ambiental.

Orientador: DSc. Thiago Moreira de Rezende Araújo.

Coorientador: DSc. Vicente de Paulo Santos de Oliveira.

Macaé/RJ
2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C575a Cintra, Luana Santana, 1987-.
Análise da qualidade da água do baixo paraíba do sul, no trecho Campos dos Goytacazes - São João da Barra - RJ, por meio do Índice de Qualidade de Água (IQA) e Índice de Estado Trófico (IET) / Luana Santana Cintra. — Campos dos Goytacazes, RJ, 2020.
63 f.: il. color.

Orientador: Thiago Moreira de Rezende Araújo, 1981-.
Coorientador: Vicente de Paulo Santos de Oliveira, 1965-.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Campos dos Goytacazes, RJ, 2020.
Inclui referências.
Área de concentração: Sustentabilidade Regional.
Linha de Pesquisa: Avaliação, Gestão e Conservação Ambiental.

1. Água - Qualidade - Paraíba do Sul, Rio, Bacia. 2. Água - Análise. 3. Desenvolvimento de recursos hídricos - Norte Fluminense (RJ: Mesorregião). 4. Desenvolvimento de recursos hídricos - Noroeste Fluminense (RJ: Mesorregião). I. Araújo, Thiago Moreira de Rezende, 1981-, orient. II. Oliveira, Vicente de Paulo Santos de, 1965-, coorient. III. Título.

CDD 628.161098153

(23. ed.)

Dissertação intitulada **ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DO BAIXO PARAÍBA DO SUL, NO TRECHO CAMPOS DOS GOYTACAZES – SÃO JOÃO DA BARRA – RJ, POR MEIO DO ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA (IQA) E ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO (IET)**, elaborada por **Luana Santana Cintra** e apresentada, publicamente perante a Banca Examinadora, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal Fluminense - IFF, na área de concentração Sustentabilidade Regional, linha de pesquisa Avaliação, Gestão e Conservação Ambiental.

Aprovado em 04 de Dezembro de 2020.

Banca Examinadora:



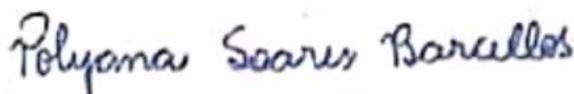
Thiago Moreira de Rezende Araújo - Orientador
Doutor em Ciências Naturais / Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, UENF.
Instituto Federal Fluminense (IFF)



Vicente de Paulo Santos de Oliveira - Coorientador
Doutor em Engenharia Agrícola/ Universidade Federal de Viçosa, UFV
Instituto Federal Fluminense (IFF)



Eliliane Vasconcelos Corrêa Almada
Doutora em Ecologia e Recursos Naturais / Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, UENF. Instituto Federal Fluminense (IFF)



Polyana Soares Barcellos
Doutora em Ciências Ambientais / Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,
UENF.

Dedico este trabalho primeiramente a Deus pela vida. Dedico também as minhas mães Suely e Rose, e as minhas filhas Layla e Lívia.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que me permitiu trilhar esse caminho, sendo a força necessária, não somente nestes anos como mestranda, mas em todos os momentos da minha vida.

Aos meus dois pedacinhos de sol, minhas amadas filhas (Layla e Lívia), que me incentivam a ser e fazer coisas que nunca acreditei ser capaz, simplesmente pelo fato de existirem na minha vida.

Agradeço as minhas mães Suely e Rose, heroínas que me deram apoio, incentivo nas horas difíceis, de desânimo e cansaço. Ao meu pai, que passou ao meu lado o tempo necessário e precioso, que me mostrou como ser filha, e como ter um pai.

Agradeço aos meus orientadores Thiago e Vicente que acreditaram em mim, e me ofereceram todo arcabouço do conhecimento e confiança necessários para a realização desse trabalho.

A este Instituto, seu corpo docente, direção e administração que oportunizaram a janela em que hoje posso vislumbrar um horizonte superior.

Agradeço a todos os professores por me proporcionar o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e afetividade da educação no processo de formação profissional.

Aos amigos Léo, Annelise e Carol obrigada por todo apoio, amizade, carinho, companheirismo e por tornarem meus dias mais alegres ao decorrer do curso.

As minhas filhas do coração Kamila e Alessandra, amigas, refúgio para todas as horas, obrigada por estarem presentes sempre.

Agradeço a todos os amigos e amigas do Laboratório, por todo o esforço para que as análises aqui apresentadas fossem realizadas com todo comprometimento e dedicação.

Meus agradecimentos aos companheiros de trabalhos e irmãos na amizade, que fizeram parte de minha formação, e que vão continuar presentes em minha vida, e a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desse grande desafio.

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar, mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota”.

Madre Tereza de Calcutá

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO 1

Figura 1: Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul.....	19
Figura 2: Local onde as coletas foram realizadas.	19
Figura 3: Boxplots para os parâmetros (a) salinidade (‰) e (b) condutividade ($\mu\text{s cm}^{-1}$) em cada ano estudado.	23
Figura 4: Boxplots para os parâmetros (a) sólidos totais dissolvidos (mg L^{-1}) e (b) turbidez (UNT) em cada ano estudado.	24
Figura 5: Boxplots para o parâmetro pH em cada ano estudado.	25
Figura 6: Boxplots para os parâmetros (a) temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e (b) oxigênio dissolvido em cada ano estudado.	25
Figura 7: Boxplots para os parâmetros (a) Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) e Escherichia coli (NMP/100mL) em cada ano estudado.....	26

ARTIGO 2

Figura 1. Pontos de coleta no rio Paraíba do Sul.	37
--	----

LISTA DE QUADROS

ARTIGO 2

Quadro 1: Classificação do IQA-NSF	41
--	----

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1

Tabela 1: Médias e estimativas do desvio padrão (s) dos parâmetros analisados entre os anos de 2015 a 2018 e o p-valor para o teste de ANOVA realizado.	21
Tabela 2: Médias e estimativas do desvio padrão (s) dos parâmetros analisados entre os anos de 1982-85 (INEA) e 2015-18 (presente estudo) e o p-valor para o teste de ANOVA realizado.	22

ARTIGO 2

Tabela 1. Pontos de coleta nos municípios Campos dos Goytacazes e São João da Barra.	37
Tabela 2. Parâmetros de qualidade da água usados para o cálculo do IQA-NSF e seus respectivos pesos.....	40
Tabela 3. Valores de IET para os diferentes níveis tróficos.	42
Tabela 4. Valores médios e estimativas do desvio padrão, entre parênteses, obtidos para pH, turbidez, sólidos totais dissolvidos, sólidos totais, salinidade e condutividade elétrica, datas e vazões referentes às saídas de campo e valores permitidos pela legislação vigente.	44
Tabela 5. Valores médios e estimativas do desvio padrão, entre parênteses, obtidos para oxigênio dissolvido, temperatura, demanda bioquímica de oxigênio, nitrato, fósforo total e parâmetros microbiológicos, datas e vazões referentes às saídas de campo e valores permitidos pela legislação vigente.....	46
Tabela 6. Teste Estatístico ANOVA de fator duplo sem repetição.	50
Tabela 7. Resultados e interpretação do Índice de Qualidade de Água.	51
Tabela 8. Resultados e interpretação do Índice de Estado Trófico.....	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas

CEIVAP – Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

FUNASA – Fundação Nacional de Saúde

IET – Índice de Estado Trófico

IFF – Instituto Federal Fluminense

INEA – Instituto Estadual do Ambiente

IQA – Índice de Qualidade de Água

LabFoz – Laboratório de Análise e Monitoramento das Águas

NMP – Número Mais Provável

NSF – *National Sanitation Foundation*

OD – Oxigênio Dissolvido

pH – Potencial Hidrogeniônico

PICG – Polo de Inovação Campos dos Goytacazes

RHN – Rede Hidrometeorológica Nacional

STD – Sólidos Totais Dissolvidos

UENF – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro

UNT – Unidades Nefelométricas de Turbidez

**ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DO BAIXO PARAÍBA DO SUL, NO TRECHO
CAMPOS DOS GOYTACAZES – SÃO JOÃO DA BARRA – RJ,
POR MEIO DO ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA (IQA) E ÍNDICE DE ESTADO
TRÓFICO (IET)**

RESUMO

O monitoramento dos recursos hídricos é imprescindível para que se garanta água em quantidade e qualidade adequadas para o equilíbrio ecossistêmico e para manutenção de seus diversos usos. A utilização de ferramentas se faz necessária para a interpretação do monitoramento, como produção de índices para uma melhor interpretação dos dados encontrados. Nesse sentido, o Índice de Qualidade de Água (IQA) e o Índice de Estado Trófico (IET) são algumas ferramentas importantes para análise dos principais parâmetros relacionados à qualidade da água de corpos hídricos, principalmente quando se busca índices relacionados à contaminação por esgoto doméstico e ao nível de nutrientes nas águas, respectivamente. A gestão de recursos hídricos no Brasil é realizada a nível de bacia hidrográfica, por meio dos Comitês de Bacias Hidrográficas. A região do Baixo Paraíba do Sul e Itabapoana está inserida na Região Hidrográfica IX, abrangendo a região da foz do rio Paraíba do Sul, onde estão localizados os municípios de Campos dos Goytacazes e São João da Barra. Nesse contexto, o objetivo do estudo é avaliar a condição dos recursos hídricos do rio Paraíba do Sul no trecho Campos dos Goytacazes – São João da Barra por meio da análise de diferentes parâmetros físico-químicos e microbiológicos e cálculo do IQA e IET. Foram realizadas análises de importantes parâmetros de qualidade de água em um ponto na localidade de Martins Lage em Campos dos Goytacazes entre os anos de 2015 a 2018 para confecção do primeiro artigo. Para a realização do segundo artigo foram feitas três saídas de campo, onde se coletou amostras em seis diferentes pontos ao longo dos municípios de Campos dos Goytacazes e São João da Barra no ano de 2019. As análises físico-químicas e microbiológicas foram realizadas no Laboratório de Análise e Monitoramento das Águas (LabFoz) do Polo de Inovação Campos dos Goytacazes do Instituto Federal Fluminense (PICG/IFF). As determinações, em sua maioria, foram feitas em triplicata e os métodos de análise seguiram as normas técnicas estabelecidas pelo *Standard Methods for examination of water & wastewater 23th*. Os resultados obtidos foram relacionados com a Resolução nº 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e com trabalhos científicos similares. Os parâmetros analisados em sua maioria se mostraram dentro do preconizado pela legislação de referência para água doce classe 3. Vale destacar que os parâmetros microbiológicos apresentaram valores mais altos em alguns pontos, indicando possível contaminação na área abrangida pelo estudo. O Índice de Qualidade de água apresentou, nas duas primeiras saídas nível de qualidade bom, porém a última saída apresentou nível de qualidade médio em quase todos os pontos. O índice de Estado Trófico apresentou em sua maioria grau de trofia mesotrófico, sendo a primeira saída a única que apresentou três pontos com grau de trofia eutrófico, indicando possíveis interferências antrópicas com relação ao incremento de fósforo.

Palavras-chave: Monitoramento. Recurso Hídrico. Gestão hídrica.

ANALYSIS OF THE WATER QUALITY OF THE RIVER PARAÍBA DO SUL, IN THE CAMPOS DOS GOYTACAZES - SÃO JOÃO DA BARRA - RJ, BY THE WATER QUALITY INDEX (WQI) AND TROPIC STATUS INDEX (TSI)

ABSTRACT

The monitoring of water resources is essential in order to guarantee water in adequate quantity and quality for the ecosystem balance and for the maintenance of its various uses. It is necessary to use tools that help the interpretation of the monitoring, such as the production of indexes for a better interpretation of the data found. In this sense, the Water Quality Index (WQI) and the Trophic State Index (TSI) are some important tools for the analysis of the main parameters related to the quality of water bodies, especially when looking for indexes related to contamination by domestic sewage and the level of nutrients in water, respectively. The management of water resources in Brazil is carried out at the river basin level, through the Hydrographic Basin Committees. The region of Baixo Paraíba do Sul and Itabapoana is inserted in the Hydrographic Region IX, covering the mouth of the Paraíba do Sul River, where the municipalities of Campos dos Goytacazes and São João da Barra are located. In this context, the objective of the study is to evaluate the condition of the water resources of the Paraíba do Sul River in the Campos dos Goytacazes - São João da Barra stretch through the analysis of different physical-chemical and microbiological parameters and calculation of WQI and TSI. Analysis of important water quality parameters were performed at a point in the town of Martins Lage in Campos dos Goytacazes between the years 2015 to 2018 to make the first article. For the realization of the second article three field trips were made, where samples were collected at six different points along the municipalities of Campos dos Goytacazes and São João da Barra in the year 2019. The physical-chemical and microbiological analyses were carried out at the Laboratório de Análise e Monitoramento das Águas (LabFoz) of the Polo de Inovação Campos dos Goytacazes of the Instituto Federal Fluminense (PICG/IFF). The determinations, in their majority, were made in triplicate and the analysis methods followed the technical standards established by the Standard Methods for examination of water & wastewater 23th. The results obtained were related to Resolution n° 357/2005 of the National Council of the Environment (CONAMA) and similar scientific works. The parameters analyzed in its majority were within the recommended reference legislation for freshwater class 3. It is worth mentioning that the microbiological parameters presented higher values in some points, indicating possible contamination in the area covered by the study. The Water Quality Index presented, in the first two outputs, a Good quality level, but the last output presented an average quality level in almost all points. The Trophic State Index presented in its majority degree of mesotrophic trophy, being the first exit the only one that presented three points with Eutrophic trophy degree, indicating possible anthropic interferences in relation to the phosphorus increment.

Keywords: Monitoring. Water resource. Water management.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE QUADROS.....	viii
LISTA DE TABELAS	ix
RESUMO.....	xi
<i>ABSTRACT</i>	xii
APRESENTAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	15
ARTIGO CIENTÍFICO 1	16
MONITORAMENTO DE PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO PARAÍBA DO SUL EM CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ	16
RESUMO.....	16
ABSTRACT.....	16
1 INTRODUÇÃO	17
2 METODOLOGIA	19
2.1 Coleta das amostras.....	19
2.2 Análises físico-químicas e microbiológicas.....	20
2.3 Análises estatísticas.....	20
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES	21
4 CONCLUSÕES	27
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	27
ARTIGO CIENTÍFICO 2	30
ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA NO BAIXO PARAÍBA DO SUL POR MEIO DO ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA (IQA) E ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO (IET)	30
RESUMO.....	30
<i>ABSTRACT</i>	31
1 INTRODUÇÃO	31
2 MATERIAL E MÉTODOS	35
2.1 Área de Estudo.....	35
2.2 Coleta das amostras.....	37
2.3 Análises físico-químicas e microbiológicas.....	38
2.4 Cálculo do Índice de Qualidade de Água (IQA-NSF).....	40
2.5 Índice de Estado Trófico (IET)	42
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
3.1 Análise dos Parâmetros.....	43
3.2 Índice de Qualidade de Água (IQA)	51
3.3 Índice de Estado Trófico (IET)	53

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	55
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DO RELATÓRIO	61

APRESENTAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

O rio Paraíba do Sul resulta da confluência dos rios Paraibuna e Paraitinga, no estado de São Paulo e deságua no Oceano Atlântico, entre os municípios de São João da Barra e São Francisco de Itabapoana, após percorrer aproximadamente 1.150 km. A sua bacia hidrográfica está localizada nos estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro, abrangendo uma área de 62.074 km². Os principais usos da água nessa bacia são para abastecimento populacional, irrigação, geração de energia hidrelétrica e diluição de esgotos, sendo esse último a principal fonte de poluição do rio, especialmente na parcela que abrange os trechos urbanos (AGEVAP, 2017).

O monitoramento da qualidade da água possibilita uma melhor gestão de recursos hídricos, considerando localmente as demandas necessárias para suprir os múltiplos usos existentes e a qualidade indispensável para cada um deles. A distribuição da água com uma qualidade deteriorada é um fator limitante ao desenvolvimento das cidades e também a manutenção da saúde da população dependente desse recurso. Diante do crescimento econômico da área em questão, abrangendo os municípios de Campos dos Goytacazes e São João da Barra, é de extrema importância que ocorra um constante monitoramento dos recursos hídricos, posto que a expressiva quantidade de empreendimentos que utilizam a Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul pode ocasionar a depreciação de sua qualidade, assim como a deficiência de uma rede coletora e de tratamento de efluentes que contemple o máximo de habitações possível.

Nesse sentido, objetivou-se avaliar a condição dos recursos hídricos do trecho Campos dos Goytacazes – São João da Barra da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul por meio da análise de diferentes parâmetros físico-químicos e microbiológicos e cálculo do IQA e IET. Ao longo da elaboração da dissertação foram produzidos dois artigos científicos de modo a documentar os resultados do estudo realizado.

O Artigo Científico 1, intitulado Monitoramento de Parâmetros de Qualidade da Água do Rio Paraíba do Sul - Campos Dos Goytacazes – RJ, possibilitou que se observasse o comportamento de alguns parâmetros de qualidade da água em um ponto de coleta, localizado no Baixo Paraíba do Sul, na localidade de Martins Lage, município de Campos dos Goytacazes, no estado do Rio de Janeiro. Foram analisados os parâmetros salinidade, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, pH, turbidez, temperatura, oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes, coliformes totais e *Escherichia*

coli. O mesmo foi publicado na Revista HOLOS, publicação online do Instituto Federal do Rio Grande do Norte.

O Artigo Científico 2, intitulado Análise da Qualidade da Água no Baixo Paraíba do Sul por meio do Índice de Qualidade de Água (IQA) e Índice de Estado Trófico (IET), foi elaborado a partir da evolução das próximas etapas do estudo e tem como objetivo utilizar os índices para obter análises simples e que contemplem importantes parâmetros de qualidade da água. Pretende-se publicá-lo na Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental (ESA).

O Índice de Qualidade de Água foi desenvolvido pela *National Sanitation Foundation* (NSF) em 1970 para monitorar as alterações espaciais e temporais na qualidade de água e compará-la entre os corpos hídricos, para refletir a possível contaminação por ações antrópicas, como efluentes domésticos (CASTRO JUNIOR; SOBREIRA; BORTOLOTTI, 2007). Já o Índice de Estado Trófico tem como finalidade classificar os corpos hídricos em diferentes graus de trofia, isto é, avaliar a qualidade da água, por meio da análise do enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo de algas e infestação de macrófitas aquáticas (ANA, 2018).

Se tratando dos procedimentos metodológicos da pesquisa experimental, no dia 09 de abril de 2019 foi realizada a primeira campanha de coleta, onde se percorreu ao longo do Rio Paraíba do Sul seis pontos de amostragens, as duas saídas seguintes ocorreram nos dias 10 de setembro e 03 de dezembro de 2019. O primeiro ponto de coleta se localiza na confluência entre o rio Paraíba do Sul e o rio Muriaé, enquanto o ponto seguinte foi delimitado antes do centro de Campos. O terceiro, foi definido em uma área logo após a região central da cidade de Campos dos Goytacazes. O ponto quatro foi delimitado mais a jusante da localidade de Barcelos, já no município de São João da Barra, assim como o quinto ponto, localizado logo a montante da entrada na sede do município e o sexto e último ponto de coleta, foi delimitado no centro, após o local de captação da Estação de Tratamento de água.

Foram realizadas análises laboratoriais dos parâmetros usados no cálculo do IQA e IET, e utilizados para comparações com a resolução CONAMA nº 357/2005, como temperatura, oxigênio dissolvido, pH, salinidade, sólidos totais dissolvidos, turbidez, coliformes totais, *Escherichia coli*, alcalinidade, demanda bioquímica de oxigênio, fosfato, nitrato e nitrito. Essas análises foram realizadas no Laboratório de Análise e Monitoramento das Águas (LabFoz) do Polo de Inovação Campos dos Goytacazes (PICG), sendo alguns parâmetros analisados *in situ*, como temperatura e oxigênio dissolvido.

ARTIGO CIENTÍFICO 1

MONITORAMENTO DE PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO
PARAÍBA DO SUL EM CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ

L. S. Cintra*, C. R. de Oliveira, B.B.P Costa, D.A. Costa, V.P.S. Oliveira, T.M.R. Araújo
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense
luanascintra32@gmail.com*

Submetido 18/02/2020 - Aceito 16/04/2020

DOI: 10.15628/holos.2020.9564

RESUMO

A demanda atual por mecanismos de gestão de recursos hídricos que considerem a quantidade e qualidade das águas tem sido prioridade, já que se trata de um recurso de extrema importância à manutenção da vida e à continuidade das atividades econômicas. A Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul é responsável pelo abastecimento de milhões de pessoas e indústrias ao longo dos estados de Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro. Devido a sua importância, é necessário o monitoramento contínuo visando verificar se suas águas estão adequadas para seus múltiplos usos e para manter a sua qualidade ecossistêmica. Nesse contexto, o objetivo principal do presente trabalho foi analisar alguns parâmetros de qualidade de água em um ponto do rio

localizado no Baixo Paraíba do Sul, na localidade de Martins Lage, município de Campos dos Goytacazes-RJ, de forma a verificar se a qualidade da água do referido ponto está de acordo com o enquadramento concedido ao trecho do rio em questão. Para isso, foram realizadas coletas ao longo de todo o ano, entre o período de 2015 a 2018. As análises foram realizadas no Laboratório de Análise e Monitoramento das Águas, do Polo de Inovação Campos dos Goytacazes. Com os resultados obtidos, foi possível observar variações significativas ao longo dos anos em cinco dos nove parâmetros avaliados, porém, em sua maioria, eles se encontram dentro da classificação do trecho (água doce/classe III), segundo legislação vigente.

PALAVRAS-CHAVE: Recursos hídricos, Enquadramento, CONAMA 357/2005.

**WATER QUALITY PARAMETERS MONITORING OF THE RIO PARAÍBA DO SUL IN CAMPOS DOS
GOYTACAZES - RJ****ABSTRACT**

Demand current for water resource management mechanisms that consider the quantity and quality of water has been a priority, since it is extreme importance resource to the life maintenance and the economic activities continuity. Hydrographic Paraíba do Sul River Basin is responsible for supplying people millions and a lot of industries throughout Minas Gerais, São Paulo and Rio de Janeiro states. Due to its importance, it should be submitted to continuous monitoring to verify that its waters are suitable for its multiple uses and ecosystem quality maintain. In this context, this work analyzed some

water quality parameters at a point the river located in Martins Lage, Campos dos Goytacazes municipality-RJ, in order to verify that the water quality of that point is in accordance legislation. For this, collections were carried out period from 2015 to 2018. The analyses were made at Waters Analysis and Monitoring Laboratory of the Campos dos Goytacazes Innovation Center. The results showed variations over the analyzed for five of nine parameters, but mostly, they were within the classification of the stretch (fresh water/class III) according to current legislation.

KEYWORDS: Hydric resource, Classification, CONAMA 357/2005.

1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por água em quantidade e qualidade adequadas tem sido um dos grandes problemas da sociedade atual. O Brasil é considerado um país privilegiado quanto à questão hídrica, porém, fatores como a diminuição de matas ciliares, despejo de efluentes domésticos, industriais e agrícolas têm ocasionado a depreciação da qualidade desse recurso em nosso país. Diante da importância econômica e biológica da água, é necessário que se busquem mecanismos de gestão eficazes de modo a garantir seu uso eficiente e sustentável (Cavalcanti, 2016).

A Lei 9.433 de 1997, conhecida como Lei das Águas, trouxe as diretrizes para a gestão dos recursos hídricos instituindo a Política Nacional dos Recursos Hídricos e o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Entre as diretrizes estabelecidas estão a gestão sistemática dos recursos hídricos, sem dissociação dos aspectos quantidade e qualidade e, também, a integração da gestão das águas com a gestão ambiental. Os planos de recursos hídricos e seus enquadramentos em classes segundo os usos preponderantes são instrumentos dessa norma. Esse enquadramento tem o objetivo de assegurar às águas qualidade compatível com seus usos mais exigentes, de modo a garantir a utilização das mesmas para as atividades diversas associadas à manutenção da sua qualidade (Brasil, 1997; Gonçalves, 2016).

A qualidade da água é definida por sua composição e pelo conhecimento do efeito que seus constituintes podem causar no meio ambiente e, conseqüentemente, na saúde dos seres humanos. Os diferentes usos da água exigem diferentes padrões de qualidade. Nesse sentido, a Resolução nº 357/2005 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) traz as diretrizes para a realização do enquadramento dos corpos hídricos, no qual a água doce é dividida em Classe Especial, Classe I, Classe II, Classe III e Classe IV. Com efeito que, quanto maior o número da classe, menos restritivo é o uso a que ela pode se destinar.

A Conjuntura de Recursos Hídricos é um documento, produzido anualmente pela Agência Nacional das Águas (ANA), que se configura como uma referência para acompanhamento sistemático e periódico das estatísticas e indicadores relacionados aos recursos hídricos no Brasil. Ele apresenta detalhadamente os principais usos, consuntivos ou não consuntivos, dos recursos no país, assim como aspectos relacionados à gestão (ANA, 2018a). A ANA também é responsável pela coordenação da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), possuindo um sistema que abriga atualmente 4.641 pontos de monitoramento no país, divididos em estações que monitoram parâmetros relacionados aos rios, como níveis, vazões, qualidade da água e transporte de sedimentos, e outras estações que monitoram principalmente as chuvas (ANA, 2018b).

O Instituto Estadual do Ambiente (INEA) realiza o monitoramento qualitativo e quantitativo, em nível estadual, com vistas a obtenção de informações necessárias para o manejo adequado dos ecossistemas aquáticos do Estado do Rio de Janeiro. O Instituto vem realizando o monitoramento de rios, reservatórios, lagoas costeiras, baías e praias do Estado desde a década de 70 do século XX, possuindo atualmente 374 corpos hídricos monitorados por 610 estações de monitoramento (INEA, 2018). Ou seja, a realização de ações de monitoramento de corpos hídricos, visando verificar se suas águas estão adequadas para seus múltiplos usos e para manter a sua qualidade ecossistêmica, é de extrema importância.

A Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul (Figura 1) está localizada no sudeste brasileiro e percorre os estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais. Possui extrema importância tanto

economicamente quanto na manutenção do abastecimento hídrico de milhões de pessoas. O desenvolvimento diversificado e a acentuada expansão demográfica em torno da bacia têm sido agravantes que afetam a qualidade de seus recursos hídricos (Demanboro, 2015). Para sua gestão, foi instituído o Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (CEIVAP). O último enquadramento foi instituído pela Portaria GM/086 do Ministério do Interior (04/06/1981), em que o rio Paraíba do Sul foi enquadrado como água doce/Classe III, da cidade de Campos dos Goytacazes até a sua foz (Facioli; Bezerra, 2015).

O CEIVAP é responsável pela produção de cadernos de ações com diretrizes para gestão dos recursos hídricos, que contempla área de abrangência - GT-FOZ, analisada neste estudo. Segundo o comitê, a tendência de concentração populacional pode ser um fator de aumento de poluição na bacia. No tocante ao uso e ocupação do solo, observa-se uma situação precária em termos de distribuição percentual das florestas nos seus municípios com predominância de campos e pastagens. São usados sete recortes temáticos para as ações de melhoria quali-quantitativa na área de atuação do GT-FOZ que são redução de cargas poluidoras, aproveitamento e racionalização de uso dos recursos hídricos, drenagem urbana e controle de cheias, planejamento de recursos hídricos, projetos para ampliação da base de dados e informações, plano de proteção de mananciais e sustentabilidade no uso do solo e ferramentas de construção da gestão participativa.

O Plano de Aplicação Plurianual, aprovado pelo CEIVAP na Deliberação nº 237/2016, destinou R\$ 40 milhões para investimentos em ações voltadas ao saneamento no período de 2017 a 2020. Ainda que o CEIVAP mantenha ações voltadas à melhoria da qualidade da água, é destinada aos entes federativos União, Estados e Municípios, segundo a Constituição Federal de 1988, a atribuição de desenvolverem programas de saneamento básico (FUNDAÇÃO COPPETEC, 2007).

De acordo com a Política Nacional de Recursos Hídricos, o enquadramento é um instrumento que deve ser proposto pela Agência de Bacia e aprovado pelo seu respectivo Comitê de Bacia Hidrográfica. A discussão a respeito do processo de atualização do enquadramento é parte integrante do Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul, no qual se discute os prós e contras da atualização, com ênfase nos prováveis impactos financeiros de investimentos em recuperação e preservação dos recursos hídricos da bacia (Facioli; Bezerra, 2015).

Nesse contexto, o principal objetivo do presente trabalho foi analisar alguns parâmetros de qualidade da água em um ponto do rio Paraíba do Sul, no trecho Baixo Paraíba do Sul, na localidade de Martins Lage, município de Campos dos Goytacazes, no estado do Rio de Janeiro, entre 2015 e 2018, e comparar os resultados encontrados com a Resolução CONAMA nº 357 de 2005 e com o enquadramento dado ao mesmo através da portaria nº 86 de 04 de junho de 1981.

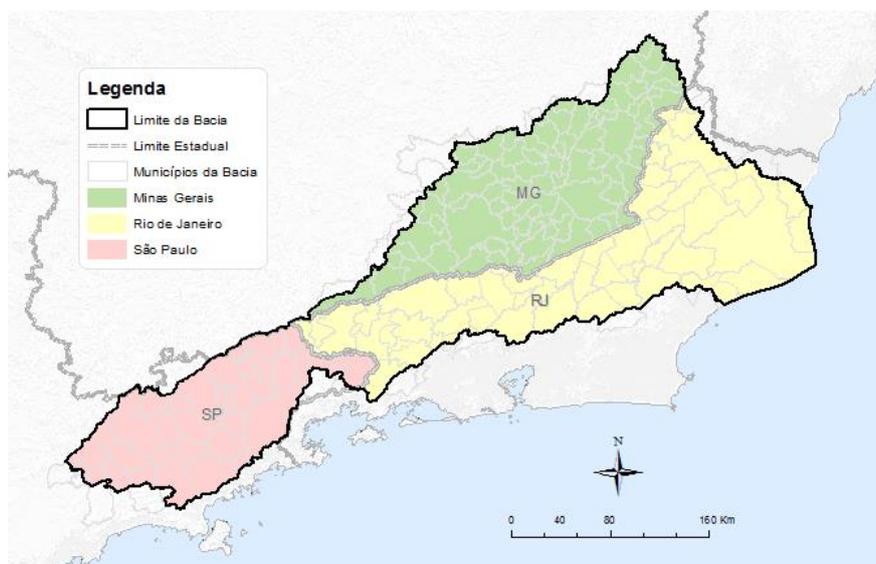


Figura 1: Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul (CEIVAP, 2019).

2 METODOLOGIA

2.1 Coleta das amostras

As amostras foram coletadas entre janeiro de 2015 e dezembro de 2018, em um ponto ($21^{\circ} 44'20.5''$ sul / $041^{\circ} 12'27.7''$ oeste) do rio Paraíba do Sul, próximo ao Polo de Inovação Campos dos Goytacazes do Instituto Federal Fluminense, conforme mostra a Figura 2. Nos anos de 2015, 2016 e 2018 foram realizadas 12 coletas, em intervalos de aproximadamente 30 dias, ao longo de cada ano. Já em 2017, devido a obras no laboratório de análises, foram realizadas apenas 6 coletas, de julho a dezembro. Para realização das amostragens, foram seguidas as orientações que constam no Manual Prático de Análise de Água da FUNASA (2013). Resumidamente, foram utilizados frascos de polipropileno de 500 mL para coleta das amostras levadas para as análises físico-químicas e frascos com capacidade de 100 mL previamente autoclavados, para coleta das amostras levadas para as análises microbiológicas. Todas as coletas foram realizadas no período da manhã.

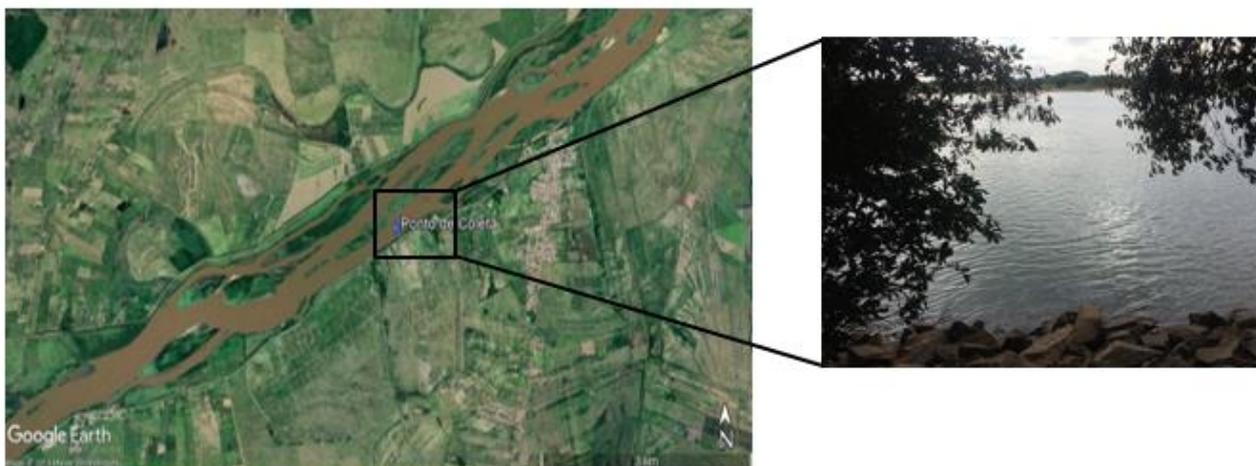


Figura 2: Local onde as coletas foram realizadas próximo ao Polo de Inovação Campos dos Goytacazes do Instituto Federal Fluminense (Google Earth Pro, 2019).

No dia de cada amostragem, foi feita uma média da vazão do rio utilizando dados desse parâmetro obtidos no sítio eletrônico da Agência Nacional das Águas (ANA) por meio do portal HidroWeb. Os dados utilizados para o procedimento foram os da Estação n° 5897400, localizada no município de Campos dos Goytacazes-RJ. Ao final de cada ano, uma média anual, considerando apenas os dias de coleta, foi obtida.

2.2 Análises físico-químicas e microbiológicas

As análises das amostras foram realizadas no Laboratório de Análise e Monitoramento das Águas (LabFoz) do Polo de Inovação Campos dos Goytacazes. Elas foram feitas em triplicata, exceto as microbiológicas, e a partir dos dados, uma média anual para cada parâmetro foi obtida. As determinações realizadas foram: pH, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, salinidade, turbidez, oxigênio dissolvido, temperatura, coliformes totais, *Escherichia coli* e coliformes termotolerantes.

Os métodos utilizados para realização das análises dos referidos parâmetros seguiram o que preconiza o *Standard Methods for examination of water and wastewater 21st Edition* (2005). Resumidamente, o pH foi determinado utilizando-se um pHmetro de bancada da Thermo, Orion Star A 214. A condutividade elétrica e os sólidos totais dissolvidos foram obtidos com o auxílio de um condutivímetro de bancada da Tecnal, Tec - 4 MP. A salinidade, em gramas (de sal) por litro (de solução), ou seja, por mil (‰), foi determinada por meio de equação de conversão a partir da condutividade. Para tal procedimento, foi necessário converter a unidade de medição da condutividade de microsiemens por centímetro ($\mu\text{S cm}^{-1}$) para milisiemens por centímetro (mS cm^{-1}), em seguida, elevou-se a potência de 1,0878 e multiplicou-se por 0,4665.

A turbidez foi determinada por turbidimetria a partir da utilização de turbidímetro de bancada Digimed, DM - TU - EBC. O parâmetro oxigênio dissolvido foi realizado com um oxímetro de campo Alfakit, AT 160, assim como a temperatura.

Para determinação do número mais provável por 100 mL (NMP/100 mL) de coliformes totais e *Escherichia coli* utilizou-se o Método Colilert[®], com tempo e temperatura de incubação de 24 h e 35,0 °C, respectivamente. Os dados de coliformes termotolerantes foram obtidos a partir dos resultados de *Escherichia coli* e cálculo de conversão proposto pela CETESB (2018). De acordo com o relatório de Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo, Apêndice D, multiplicando-se o valor de *E. coli* por 1,25 chega-se à estimativa, em número mais provável por 100 mL, de coliformes termotolerantes para a mesma amostra.

2.3 Análises estatísticas

Foram realizadas análises estatísticas para corroborar as comparações entre os parâmetros analisados ao longo dos pontos e dos diferentes períodos de coleta, por meio do Programa Action Stat 3. O teste de variância (ANOVA) foi aplicado para confirmar ou rejeitar a existência de alguma diferença significativa entre as médias apresentadas. Para os parâmetros que apresentaram variações relevantes, foi aplicado o teste de médias de Scheffe, com o intuito de apontar precisamente onde ocorreram as variações. Para as análises, foi utilizado o nível de significância de 0,05 (probabilidade de erro de 5 %). Para analisar a distribuição dos dados, foi utilizada a ferramenta BoxPlot, que apresenta a forma de agrupamento dos dados em torno da mediana e a existência de

outliers, ou seja, pontos discrepantes do restante dos dados. Para a confecção dos BoxPlot foi utilizado o Excel 2013.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Visando verificar a presença de diferenças significativas entre as médias encontradas para cada parâmetro nos anos avaliados no presente estudo foi realizada a análise de variância (ANOVA), seguido, caso necessário, do teste de média de Scheffe. Na Tabela 1, podem ser observadas as médias de cada parâmetro nos diferentes anos avaliados, a estimativa do desvio padrão (s) para cada caso e o *p*-valor do teste de ANOVA de um fator ao nível de significância de 0,05 (probabilidade de erro de 5 %). Observa-se ainda letras sobrescritas ao lado das médias, no caso em que o *p*-valor do teste de ANOVA é menor que 0,05, o que mostra diferença significativa entre elas. Essas letras indicam os resultados encontrados no teste de Scheffe. Dessa forma, médias com as mesmas letras são estatisticamente iguais, ao nível de significância de 0,05, enquanto, médias com letras distintas são estatisticamente diferentes. Por último, ainda na Tabela 1, encontram-se os valores médios de vazão do rio nos anos de 2015 a 2018.

Tabela 1: Médias e estimativas do desvio padrão (s) dos parâmetros analisados entre os anos de 2015 a 2018 e o *p*-valor para o teste de ANOVA realizado.

Parâmetros	2015 ^x		2016 ^x		2017 ^y		2018 ^x		<i>p</i> -valor ^w ANOVA
	Média	S	Média	S	Média	S	Média	S	
Temp. (°C)	25,30	2,15	21,10	2,45	24,90	1,41	23,20	1,99	0,0750
Ph	7,1 ^b	0,4	7,1 ^b	0,2	7,8 ^a	0,2	7,9 ^a	0,4	1,07E-7
Turbidez (UNT)	13,8 ^b	20,6	54,7 ^a	38,7	11,0 ^b	6,0	20,5 ^b	20,8	0,00150
Condutividade (µs cm ⁻¹)	83,97 ^a	11,61	69,82 ^b	8,64	70,00 ^{a,b}	1,93	80,37 ^{a,b}	11,49	0,00316
STD (mg L ⁻¹)	41,79	5,76	34,98	4,48	34,63	1,01	44,79	6,38	0,513
Salinidade (‰)	0,0317 ^a	0,0050	0,0259 ^b	0,0030	0,0262 ^{a,b}	0,0010	0,0301 ^{a,b}	0,0050	0,0102
OD (mg L ⁻¹)	7,40 ^a	0,62	4,66 ^b	1,22	5,90 ^{a,b}	0,75	4,82 ^b	2,67	0,00602
Coli. totais (NMP/100 mL)	>2419,6	-	>2419,6	-	>2419,6	-	>2419,6	-	-
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100 mL)	546,40	693,40	476,68	585,78	57,00	31,76	596,66	737,45	0,369
Coli. term. (NMP/100 mL)	683,04	866,75	595,85	732,22	71,25	39,70	745,83	921,81	0,369
Vazão do rio ^k (m ³ s ⁻¹)	341	210	464	435	235	433	379	428	-

Onde: Temp.=Temperatura; STD=Sólidos totais dissolvidos; OD=Oxigênio dissolvido; Coli. totais=Coliformes totais; Coli. term.=Coliformes termotolerantes; ^xn=12; ^yn=6; ^kMédia anual da média do dia de amostragem; ^wNível de significância de 0,05; ^{a,b}Indicam os resultados do teste de média de Scheffe, letras iguais significam médias iguais ao nível de significância de 0,05 e letras distintas mostram médias diferentes.

Analisando-se os resultados apresentados na Tabela 1, observa-se que foram encontrados valores estatisticamente diferentes entre as médias anuais para cinco dos nove parâmetros analisados. Verifica-se ainda que, para importantes parâmetros de qualidade de água, tais como: *Escherichia coli* e coliformes termotolerantes, que podem indicar a contaminação por esgoto doméstico e consequentemente presença de patógenos, não houve variação significativa entre as médias anuais.

Para o ano de maior vazão média, 2016, foram encontrados os menores valores de condutividade e de salinidade e o maior valor de turbidez. A primeira e a segunda observações provavelmente possuem relação com o efeito da diluição promovido pelo maior volume de água do rio. Já a terceira, provavelmente a maior vazão no ano de 2016, tem relação com mais chuvas na região da bacia hidrográfica do rio, o que faz aumentar a turbidez da água.

Comparando-se agora alguns resultados médios do quadriênio 2015-18, obtidos no presente estudo com dados entre 1982-85 oriundos da estação PS441 (21°44'40.0" sul/41°19'50.0" oeste) fornecidos pelo INEA (Tabela 2), observa-se que, dos 8 parâmetros analisados por ambos, há diferença estatisticamente significativa para 6.

Tabela 2: Médias e estimativas do desvio padrão (s) dos parâmetros analisados entre os anos de 1982-85 (INEA) e 2015-18 (presente estudo) e o p-valor para o teste de ANOVA realizado.

Parâmetros	INEA - 1982-85 ^x		2015-18 ^y		p-valor ^w ANOVA
	Média	S	Média	S	
Temperatura (°C)	24,16	3,02	24,58	2,23	0,4790
Ph	7,1	0,3	7,5	0,5	6,56E-4
Turbidez (UNT)	27,5	26,1	26,3	30,5	0,8848
Condutividade (µs cm ⁻¹)	64,20	9,97	76,90	11,48	8,56E-7
Salinidade (%)	0,0236	0,0040	0,0288	0,0049	1,07E-7
Oxigênio dissolvido (mg L ⁻¹)	8,05	0,69	5,72	1,99	1,51E-9
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100 mL)	27490,40	48008,06	467,87	628,03	5,46E-4
Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)	34363,00	60010,08	584,84	785,04	5,46E-4
Vazão do rio ^k (m ³ s ⁻¹)	799	458	367	275	2,25E-6

^xn=40; ^yn=42; ^kMédia do quadriênio da média do dia de amostragem; ^wNível de significância de 0,05.

Verifica-se ainda, com auxílio da Tabela 2, que os valores para *Escherichia coli* e coliformes termotolerantes são bem menores no quadriênio 2015-18 o que, considerando esses parâmetros, indica uma melhoria na qualidade da água do rio Paraíba do Sul na região estudada. Possivelmente, essa diminuição vem ocorrendo devido ao aumento na coleta e tratamento de esgoto doméstico na bacia hidrográfica do rio. O Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) mostra que entre os anos de 1991 a 2000, o município de Campos dos Goytacazes não possuía tratamento de efluentes domésticos, mesmo com a presença de uma rede coletora de esgoto que contemplava 30,35% dos domicílios. No ano de 2004, na cidade, o tratamento teve uma abrangência de 296 m³/ano, já em 2018, tratava 11.899,34 m³/ano, com uma rede coletora de 57,1% das residências.

A concentração de oxigênio dissolvido foi menor no mesmo quadriênio (2015-18) o que indica uma piora na qualidade da água frente a esse parâmetro. Essa diminuição pode ter sido observada, por exemplo, devido a um aumento na concentração de matéria orgânica, também da temperatura média e o decréscimo na vazão/volume do rio, o que o torna menos lóxico e diminui o seu poder de depuração. O aumento da condutividade e da salinidade no quadriênio 2015-18 também é um fator negativo com relação à qualidade da água, pois indica o aumento de espécies dissolvidas e mostra um acréscimo na salinização do corpo hídrico.

Com os resultados obtidos no presente estudo, foi possível também realizar os cálculos de mediana, quartis e amplitude interquartilica para cada parâmetro avaliado durante os anos de 2015 a 2018 (Figura 3 a Figura 7). Nessas figuras, é possível observar as variações dos resultados e também

a presença de pontos com resultados mais discrepantes em relação à mediana, chamados de *outliers*. Os dados apresentados nas mesmas serão comparados com trabalhos científicos similares e à Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente CONAMA n° 357/2005, para verificar se a água do ponto de coleta encontrava-se dentro do enquadramento que lhe foi conferido, água doce/classe III, segundo a portaria n° 86 de 04 de junho de 1981.

Os valores de salinidade são importantes para a definição do recurso hídrico como de água doce, salobra ou salgada. Quando a salinidade é igual ou inferior a 0,5‰, considera-se o mesmo de água doce, como de águas salobras, quando a salinidade for superior a 0,5‰ e inferior a 30‰ e, como águas salgadas, os que possuem salinidade superior a 30‰. Os dados encontrados para esse parâmetro (Figura 3) mostraram valores sempre abaixo de 0,5‰, ou seja, o corpo hídrico avaliado é considerado de água doce no ponto analisado. O ano de 2015 apresentou os maiores valores de salinidade, média de 0,0317‰, assim como a maior variação dos dados, de 0,0240 a 0,041‰, com amplitude interquartil, diferença entre o primeiro e terceiro quartil, de 0,009‰. Esses últimos valores evidenciam maior dispersão dos dados de salinidade para esse ano.

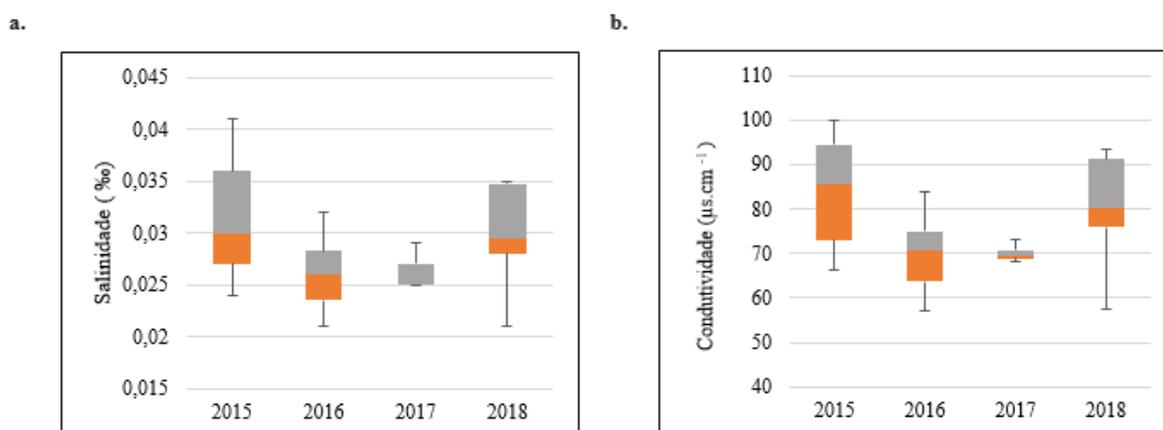


Figura 3: Boxplots para os parâmetros (a) salinidade (‰) e (b) condutividade (µs cm⁻¹) em cada ano estudado.

Com relação ao parâmetro condutividade, na Figura 3 é possível observar uma distribuição assimétrica dos dados obtidos, uma vez que os valores das medianas não se apresentam no centro da caixa. Reforçando o perfil encontrado para salinidade, novamente no ano de 2015, foram encontrados os maiores valores para a condutividade, média de 83,97 µs cm⁻¹, assim como a maior amplitude interquartil, aproximadamente 21,46 µs cm⁻¹. Entretanto, a maior variação de distribuição dos dados ocorreu no ano de 2018, com o valor máximo de 93,43 µs cm⁻¹ e mínimo de 57,5 µs cm⁻¹.

Segundo a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2016), é possível definir a condutividade como a expressão numérica da capacidade da água conduzir corrente elétrica, apontando a quantidade de sais presentes no recurso hídrico analisado. Os valores encontrados podem representar uma medida indireta da concentração de poluentes e valores muito elevados podem conceder características corrosivas à água.

A CONAMA n° 357/05 não estipula valores máximos de condutividade, independente da classe e salinidade do corpo hídrico, porém, Von Sperling (2014) e Piratoba *et al.* (2017) mencionam que em águas naturais de água doce a condutividade geralmente varia de 10 a 100 µs cm⁻¹ e que, em águas extremamente poluídas por esgoto, esse valor pode chegar até 1000 µs cm⁻¹. Ou seja, os valores encontrados não indicam que o ambiente esteja altamente impactado por esgoto doméstico.

Em seu trabalho, Pacheco *et al.* (2017) analisaram diferentes parâmetros de qualidade de água, em 210 pontos amostrais localizados da cabeceira até a foz do rio Paraíba do Sul, com o intuito de confrontá-los com o uso e ocupação do solo da área durante o período de 2014 a 2016. Foi possível constatar que o parâmetro condutividade apresentou altos valores no *cluster* 6, que corresponde a 44% da extensão do trecho do rio Paraíba do Sul em que foram coletadas as amostras, encontrando valores de condutividade máximos próximos a $100 \mu\text{s cm}^{-1}$.

Segundo Rocha *et al.* (2010), a turbidez e os sólidos totais dissolvidos (STD) são parâmetros que condicionam a penetração de raios solares na água. Valores altos desses sólidos podem reduzir a fotossíntese da vegetação enraizada submersa nos corpos hídricos, o que pode suprimir a produtividade de peixes. Logo, esses parâmetros podem não só influenciar as comunidades biológicas aquáticas, como também prejudicar os usos domésticos, recreacional e industrial dos recursos hídricos (CETESB, 2016).

De acordo com a CONAMA nº 357/05, o limite máximo estabelecido para sólidos totais dissolvidos para corpos hídricos de água doce e classe III é de 500 mg L^{-1} . Os valores encontrados nas análises (Figura 4) se apresentam dentro dos limites preconizados, sendo possível observar uma distribuição assimétrica entre os anos. Observa-se ainda, que o ano de 2018 apresentou a maior média para STD entre os anos avaliados ($44,79 \text{ mg L}^{-1}$). Entretanto, a maior variação de distribuição dos resultados, de $32,38$ a $50,01 \text{ mg L}^{-1}$ (máximo e mínimo), e maior amplitude interquartil, de $10,23 \text{ mg L}^{-1}$, foram encontrados no ano de 2015 (Figura 4 e Tabela 1), mostrando maior dispersão dos resultados para STD nesse ano.

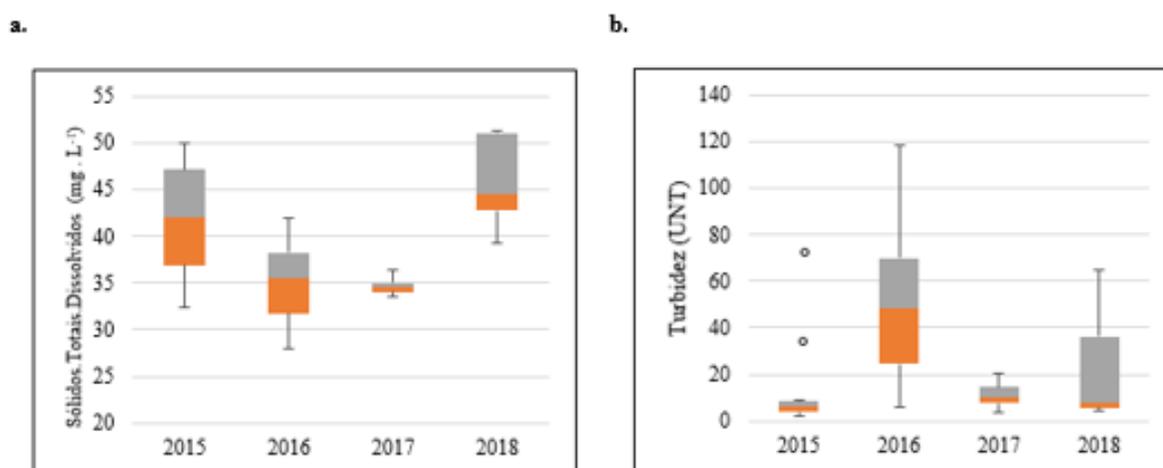


Figura 4: Boxplots para os parâmetros (a) sólidos totais dissolvidos (mg L^{-1}) e (b) turbidez (UNT) em cada ano estudado.

Com relação à turbidez, o limite estabelecido pela CONAMA nº 357/05 para esse parâmetro, em corpos hídricos de água doce e enquadrados como classe III, é de até 100 UNT. Desta forma, pode-se observar que a maioria dos valores encontrados nas análises se apresenta dentro do limite preconizado para a classificação especificada (Figura 4). Os resultados apresentam-se de maneira assimétrica, em que é notável a disparidade entre as medianas de cada ano. O ano de 2017 apresentou a menor média entre os avaliados, igual a 11,0 UNT, como pode ser observado na Tabela 1. Foi possível verificar no ano de 2015 dois *outliers* (33 e 74 UNT). Em 2016, ocorreu a maior dispersão dos dados obtidos, visto a diferença entre os valores máximo e mínimo encontrados (118 a 5,8 UNT), com uma amplitude interquartil de 45,7 UNT, assim como a maior média de vazão entre os anos estudados ($464 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$).

As análises referentes ao pH também se mostraram assimetricamente distribuídas (Figura 5). O ano de 2017 apresentou a menor variação de distribuição dos dados, de 0,5 entre os valores máximo

e mínimo, possuindo uma amplitude interquartil de 0,18. O ano de 2018 apresentou a maior variação de distribuição dos dados, com valores máximo e mínimo de 8,4 e 7,2, respectivamente, amplitude de 0,4 e um ponto discrepante dos demais no valor de 8,8. A CONAMA nº 357/05 preconiza o valor de pH de 6,0 a 9,0 para enquadramento em todas as classes de água doce. Consta-se, desta forma, que os resultados encontrados estavam adequados ao preconizado. Embora se tenham valores discrepantes nos anos 2015, 2016 e 2018 (6,5; 7,6 e 8,8), eles não ultrapassaram os valores preconizados na legislação de referência para o enquadramento do ponto do rio analisado.

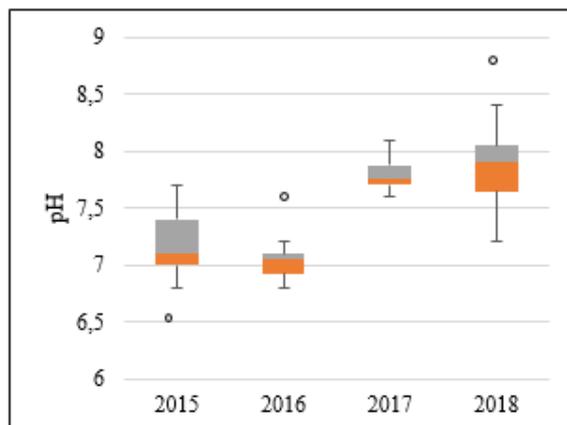
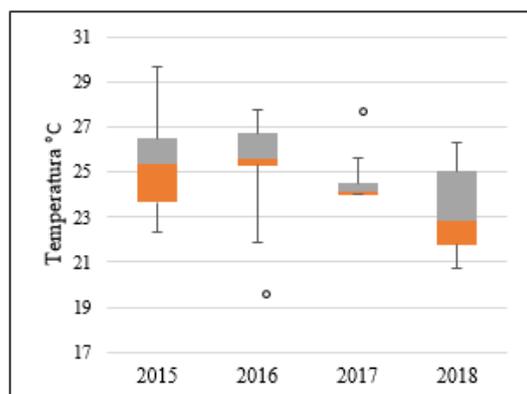


Figura 5: Boxplots para o parâmetro pH em cada ano estudado.

Resultado diferente foi encontrado no trabalho de Costa (2017), em que se analisou o comportamento dos elementos traços As, Cd, Pb e Zn no médio curso do rio Paraíba do Sul – Itatiaia – RJ, e também avaliou o pH. Parâmetro que, segundo o autor, é importante devido a seus efeitos sobre a fisiologia das diversas espécies bem como sua contribuição, em algumas situações, para a precipitação de elementos químicos tóxicos como metais pesados. Foram observadas, no trabalho em questão, variações mais elevadas no mês de outubro do ano de 2017.

É possível observar a variação de temperatura ao longo dos anos estudados (Figura 6). Os valores encontrados possuem distribuição assimétrica, visto que as medianas não se encontram no centro da caixa. No ano de 2017, ocorreu a menor variação de temperatura, de 1,6 °C entre valores máximo e mínimo, com amplitude interquartil de 1,4 °C. A maior variação de distribuição dos dados de temperatura foi no ano de 2015, em que eles se concentraram nos valores de 22,3 a 29,7 °C, com amplitude interquartil de 2,8 °C. Nos anos de 2016 e 2017, foram observados *outliers* 19,6 e 27,6 °C, respectivamente. A norma legal usada para comparação não preconiza valores para o parâmetro temperatura.

a.



b.

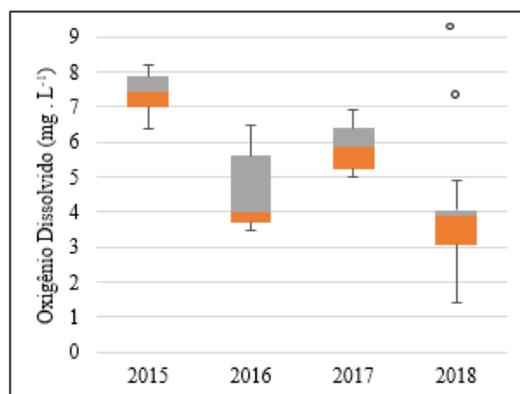


Figura 6: Boxplots para os parâmetros (a) temperatura (°C) e (b) oxigênio dissolvido em cada ano estudado.

A água em condições normais contém oxigênio dissolvido, e seu teor é dependente da altitude e temperatura, sendo também indispensável aos organismos aeróbios. Baixos teores de oxigênio são indicativos de recebimento de matéria orgânica no corpo hídrico, uma vez que a sua decomposição por bactérias aeróbias consome oxigênio, podendo levar a valores muito baixos, impactando diretamente os organismos aeróbios (Souza, 2010).

O limite de oxigênio dissolvido estabelecido para enquadramento em água doce e classe III é não inferior a 4 mg L⁻¹. Os anos de 2015 e 2017 apresentaram valores de oxigênio dissolvido sempre adequados (Figura 6), porém, nos anos de 2016 e 2018, foram encontrados alguns valores abaixo do estabelecido. Os valores mínimos encontrados foram de 3,5 e 1,4 mg L⁻¹, para os anos de 2016 e 2018, respectivamente. No ano de 2018, ocorreu a maior variação dos dados encontrados entre valor máximo e mínimo (3,5 mg L⁻¹), no entanto, a variação interquartil encontrada não foi muito acentuada (0,9 mg L⁻¹) em comparação ao ano de 2016 (1,9 mg L⁻¹). Ainda no ano de 2018, foram encontrados dois *outliers* (7,3 e 9,2 mg L⁻¹).

É possível observar os valores de coliformes termotolerantes encontrados na Figura 7. O ano de 2017 apresentou a menor variação de distribuição dos dados entre valor máximo e mínimo (58,38 NMP/100mL), possuindo uma amplitude interquartil de apenas 12,6 (NMP/100mL), a média para esse parâmetro nesse ano também foi a mais baixa (Tabela 1). Contudo, vale salientar que no mesmo ano não foi possível realizar as coletas e análises em todos os meses, o que pode ter levado a resultados diferentes dos demais anos estudados. Ainda com relação aos coliformes termotolerantes, em todos os anos analisados, foi possível observar a ocorrência de valores discrepantes dos demais, como 1.767,0 e 3.024,5 (2015); 2.482,9 (2016); 142,1 (2017) e 3.024,5 (NMP/100mL) em 2018, respectivamente.

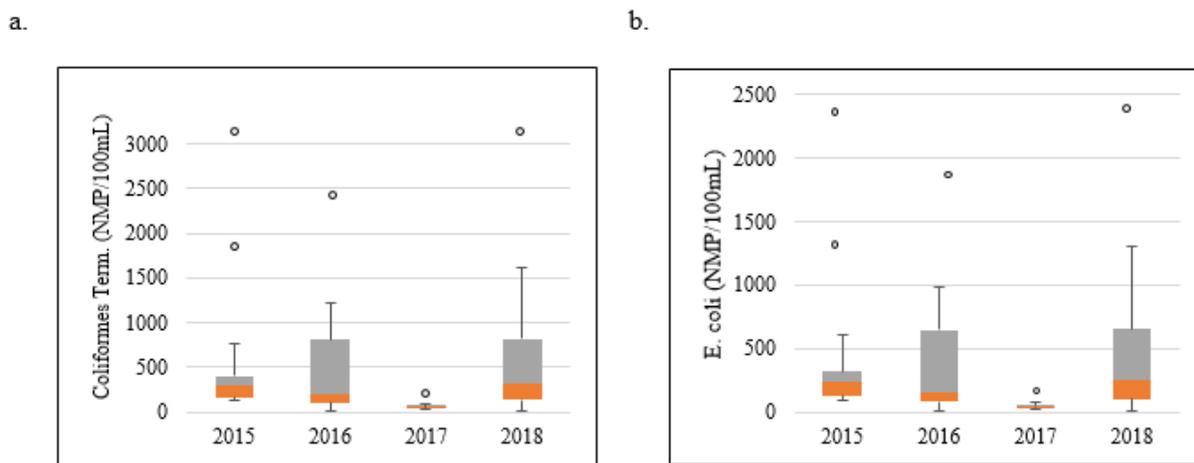


Figura 7: Boxplots para os parâmetros (a) Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) e Escherichia coli (NMP/100mL) em cada ano estudado.

A Resolução CONAMA n° 357/05 preconiza um limite de coliformes termotolerantes de 2500 NMP/100mL, em pelo menos 80% das amostras, coletadas bimestralmente ao longo de um ano, para corpos hídricos de água doce/classe III, caso o uso preponderante seja a recreação de contato secundário. Caso o uso preponderante seja a dessedentação de animais, esse valor diminui para 1000 NMP/100mL, e, para os demais usos, o limite é de 4000 NMP/100mL. Diante disto, muito provavelmente, a água do ponto coletado poderia ter sido utilizada para o uso mais restritivo, uma vez que, para todos os anos estudados, ao menos 75 % dos resultados encontrados estão abaixo de 1000 NMP/100 mL. Vale ressaltar ainda que, segundo a Resolução CONAMA n° 357/05, a água doce/classe

III pode ser destinada ao abastecimento para consumo humano somente após tratamento convencional ou avançado, uma vez que, para esse uso, segundo a Portaria de Consolidação nº5/2017, Anexo XX, do Ministério da Saúde, esses microrganismos devem estar ausentes. Desta forma, como os coliformes termotolerantes sempre estiveram presentes nas amostras coletadas, a água do ponto em questão não deve ser usada para consumo humano direto.

A CONAMA nº 357/05 estabelece que os valores de *E. coli* podem ser utilizados em substituição ao parâmetro “coliformes termotolerantes” de acordo com os limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente. Os valores encontrados de *E. coli* (Figura 7), ao longo dos anos estudados, mostraram uma distribuição assimétrica, apresentando alguns valores discrepantes em todos os anos analisados. A maior variação de distribuição dos dados entre valor máximo e mínimo foi encontrada no ano de 2018 (1.299,7 a 14,5 NMP/100mL). Os valores encontrados para coliformes totais foram acima de 2.419,6 (NMP/100mL) em quase todas as amostras, sendo encontrada apenas em uma coleta, no ano de 2016, o valor discrepante de 579,4 (NMP/100 mL). Na legislação utilizada para comparação dos parâmetros de enquadramento, não há referência aos valores limites de coliformes totais.

4 CONCLUSÕES

Considerando-se os parâmetros físico-químicos e microbiológicos que foram contemplados no presente trabalho, na maior parte do período avaliado, a qualidade da água do ponto do rio Paraíba do Sul estudado está de acordo com o enquadramento indicado na Portaria GM/086 do Ministério do Interior (04/06/1981), ou seja, água doce/classe III. Porém, medidas como: reflorestamento das matas ciliares e o aumento da coleta e do tratamento dos esgotos domésticos e industriais ao longo de toda a bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul devem ser sempre almejados visando a melhoria da qualidade da água desse importante corpo hídrico brasileiro.

A vazão do rio foi um fator que influenciou os valores obtidos para os parâmetros salinidade, condutividade e turbidez. Para a maioria dos parâmetros contemplados no trabalho, foi observado diferença significativa entre os valores médios obtidos nos anos avaliados.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agência Nacional das Águas. (ANA). (2018a). Estudos Auxiliares para Gestão de Risco de Inundações. Rio Paraíba do Sul. Acessado em 10 de julho 2019, de <http://gripbsul.ana.gov.br/Hidrografia.html>.
- Agência Nacional e Águas. (ANA). (2018b). Conjuntura de Recursos Hídricos no Brasil. Acessado em 23 de setembro, 2018, de <http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursoshidricos>.
- APHA – American Public Health Association; AWWA - American Water Works Association; WEF - **Water Environment Federation**. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 21st edition. 2005.
- BRASIL.(1997). Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Diário Oficial da União, Brasília, D.F., 1o de setembro de 1997. Seção 1, p.470.

- BRASIL. Portaria de Consolidação nº 5 de 28 de Setembro de 2017. Anexo XX. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Ministério da Saúde. Brasília. 2017.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. (2011) Portaria no 2914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. *Diário Oficial da União*, p. 39, 12 dez. 2011.
- CAVALCANTI, Bianor Scelza; MARQUES, Guilherme R. Garcia. Recursos hídricos e gestão de conflitos: A bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul a partir da crise hídrica de 2014-2015. **Revista de Gestão dos Países de Língua Portuguesa**, v. 15, n. 1, p. 04-16, 2016.
- CEIVAP - Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. (2019). <http://www.ceivap.org.br>.
- CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Relatório de Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo 2017. São Paulo, 2018. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2018/06/Relatorio-de-Qualidade-das-aguas-Interiores-no-Estado-de-São-Paulo-2017.pdf> Acessado em 06 de maio de 2019.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Apêndice E Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas e dos Sedimentos e Metodologias Analíticas e de Amostragem. Recuperado em 10 de julho de 2019. Disponível: <https://cetesb.sp.gov.br/aguasinteriores/wpcontent/uploads/sites/12/2017/11/Apendice-E-Significado-AmbientalSanitario-das-Variaveis-de-Qualidade-2016.pdf>.
- Resolução CONAMA n. 357, de 17 de março de 2005 (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. Diário Oficial da União. Brasília, DF.
- COSTA, Julie Barnes de Souza et al. Determinação de As, Cd, Pb e Zn por voltametria no médio curso do Rio Paraíba do Sul–Itatiaia–RJ. 2017.
- DEMANBORO, A. C. Gestão Ambiental e Sustentabilidade na Macrometrópole Paulista-Bacia do Rio Paraíba do Sul. (2015). *Sociedade & Natureza*, 27(3).
- FACIOLI, Mariana da Costa; BEZERRA, Gustavo. Bacia do Rio Paraíba do Sul: Conflitos no Processo Pré-enquadramento de Rios Federais em Classes de Uso. In: XXI Simpósio Brasileiro De Recursos Hídricos, 11., 2015, Brasília. **Anais**. Brasília: Abrh, 2015. p. 3 - 8.
- FUNASA - Fundação Nacional de Saúde. Manual Prático de Análise de Água. 4ª edição. Brasília, 2013. Disponível em: http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/manual_pratico_de_analise_de_agua_2.pdf Acessado 06 de maio de 2019.
- FUNDAÇÃO COPPETEC. Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul – Resumo Consolidado. Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente. Relatório Contratual R-10. Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <<http://www.ceivap.org.br/downloads/PSR-RE-012-R1.pdf>>.

- GONÇALVES, Fabrícia Moreira. Bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul: avaliação integrada da qualidade das águas dos estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo. 2016.
- HORTON, R.K. 1965. An index number system for rating water quality. *J. Water Poll. Cont. Fed.*, 3: 300–305.
- Instituto Estadual do Ambiente (INEA). (2018). Gestão da Qualidade das Águas. Acessado em 29 de abril de 2019, em: <http://www.inea.rj.gov.br/Portal/MegaDropDown/Monitoramento/Qualidadedaagua/index.htm&lang=PT-BR>.
- PACHECO, Felipe S. *et al.* Water quality longitudinal profile of the Paraíba do Sul River, Brazil during an extreme drought event. *Limnology And Oceanography, S.i.*, v. 62, n. 1, p.131-146, 07 jun. 2017. Doi: 10.1002/lno.10586
- PIRATOBA, Alba Rocio Aguilar et al. Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, PA, Brasil. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, [s.l.], v. 12, n. 3, p.435-445, 2 maio 2017. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrograficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1910>.
- ROCHA, Elisandro Santos. *et al.* Análise Microbiológica da Água de Cozinhas e/ou cantinas das Instituições de Ensino do Município de Teixeira de Freitas (Ba). *Revista Baiana de Saúde Pública*. v.34, n.3, p.694-705, 2010.
- SNIS, Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, Ministério de Desenvolvimento Regional Série Histórica. Secretaria Nacional de Saneamento. Acessado em 14 de abril de 2020 em <https://http://www.snis.gov.br/>
- SOUZA, Claudinei Fonseca et al. Avaliação da qualidade da água do rio Paraíba do Sul no município de Taubaté-SP. **Revista Biociências**, v. 16, n. 1, 2010.
- TUNDISI, J.G. Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. *Estudos Avançados*, v.22, n.63, p.7-16, 2008.
- VON SPERLING, Marcos. Estudos e Modelagem da Qualidade de Água de Rios: Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuais. 2. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014.

ARTIGO CIENTÍFICO 2

ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA NO BAIXO PARAÍBA DO SUL POR MEIO DO ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA (IQA) E ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO (IET)

ANALYSIS OF THE WATER QUALITY IN THE LOWER PARAÍBA DO SUL BY MEANS OF THE WATER QUALITY INDEX (WQI) AND TROPHIC STATE INDEX (TSI)

Luana Santana Cintra – Instituto Federal Fluminense/PPEA.

Carolina Ramos de Oliveira Nunes - Instituto Federal Fluminense/PPEA.

Vicente de Paulo Santos de Oliveira – Instituto Federal Fluminense/PPEA.

Thiago Moreira de Rezende Araújo – Instituto Federal Fluminense/PPEA.

RESUMO

A água é um fator limitante ao desenvolvimento econômico e social de qualquer região, e seu mal uso pode ocasionar grandes problemas. O monitoramento eficiente dos corpos hídricos é parte integrante de uma boa gestão de recursos hídricos e o uso de índices para essa finalidade tem como principal vantagem a simplificação de diversos parâmetros de qualidade em um único número. Dessa forma, o presente trabalho teve por objetivo avaliar, por meio da análise de parâmetros de qualidade de água, cálculo do Índice de Qualidade de Água (IQA) e Índice de Estado Trófico (IET) a qualidade da água do rio Paraíba do Sul, entre os municípios de Campos dos Goytacazes e São João da Barra (Foz). Foram realizadas três saídas de campo com períodos de vazões diferenciadas. As coletas foram realizadas em seis diferentes pontos, sendo o primeiro ponto, na confluência do rio Muriaé com o rio Paraíba do Sul em Campos dos Goytacazes e o último no centro de São João da Barra. As análises físico-químicas e microbiológicas foram realizadas no Laboratório de Análise e Monitoramento das Águas (LabFoz) do Polo de Inovação Campos dos Goytacazes do Instituto Federal Fluminense (PICG/IFF). O cálculo de IQA foi realizado com base no que é indicado pela *National Sanitation Foundation* (NSF), com o auxílio de uma planilha no Excel. O cálculo do IET foi realizado para ambiente lótico, segundo a metodologia proposta por Lamparelli, 2004. As vazões do rio nos dias de coleta foram obtidas por meio do aplicativo HidroWeb, disponibilizado pela Agência Nacional de Águas (ANA), sendo os dados utilizados os da Estação nº 5897400. Realizou-se análise estatística ANOVA de duplo fator sem repetição com o auxílio do programa Excel. Mediante a avaliação dos parâmetros coletados em campo, foi possível observar o atendimento dos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/05, em grande parte dos pontos analisados. O Índice de Qualidade de água apresentou, nas duas primeiras saídas nível de qualidade considerado bom na maioria dos pontos, porém a última saída apresentou nível de qualidade médio em quase todos os pontos. O Índice de Estado Trófico apresentou em sua maioria grau de trofia mesotrófico, sendo a primeira saída a única

que apresentou três pontos com grau de trofia eutrófico, indicando possíveis interferências antrópicas.

Palavras-Chave: Recursos Hídricos, Monitoramento, Qualidade de Água.

ABSTRACT

Water is a limiting factor in the economic and social development of any region, and its misuse can cause great problems. The efficient monitoring of water bodies is an integral part of a good management of water resources and the use of indexes for this purpose has as its main advantage the simplification of several quality parameters in a single number. Thus, this work aimed to analyze, through the calculation of the Water Quality Index (WQI) and Trophic State Index (TSI) the water quality of the Paraíba do Sul River, between the municipalities of Campos dos Goytacazes and São João da Barra. Three field trips were carried out with different flow periods. The collections were carried out at six different points, the first being at the confluence of the Muriaé river with the Paraíba do Sul river in Campos dos Goytacazes and the last in the center of São João da Barra. The physical-chemical and microbiological analyses were carried out at the Laboratório de Análise e Monitoramento das Águas (LabFoz) of the Polo de Inovação Campos dos Goytacazes of the Instituto Federal Fluminense (PICG/IFF). The WQI calculation was performed based on what is indicated by the National Sanitation Foundation (NSF), with the help of a spreadsheet in Excel. The TSI calculation was performed for lotic environment, according to the methodology proposed by Lamparelli, 2004. The river flows on collection days were obtained through the HidroWeb application, made available by the National Water Agency (ANA), and the data used were those from Station nº 5897400. A double factor ANOVA statistical analysis was performed without repetition with the help of Excel 2013 program. Through the evaluation of the parameters collected in the field, it was possible to observe the compliance with the standards established by CONAMA Resolution N°357/05, in most of the points analyzed. The Water Quality Index presented, in the first two outputs, a quality level considered Good in most of the points, but the last output presented an average quality level in almost all points. The Trophic State Index presented in its majority degree of mesotrophic trophy, being the first exit the only one that presented three points with Eutrophic trophy degree, indicating possible anthropic interferences.

KEYWORDS: Water Resources, Monitoring, Water Quality.

1 INTRODUÇÃO

A disponibilidade de água de qualidade para o consumo humano, dessedentação de animais, utilização na agricultura e na indústria tem sido um dos grandes desafios para a sociedade. O estilo de vida atual causa significativas alterações no meio ambiente, como, assoreamento dos mananciais, erosão, lançamentos de efluentes domésticos e industriais, percolação de resíduos agrícolas para corpos hídricos, dentre outras (Tundisi, 2003; Tundisi, 2006).

De acordo com o relatório “Progresso em água potável, saneamento e higiene: 2000-2017: foco especial nas desigualdades” do Programa de Monitoramento de Saúde da

Organização Mundial da Saúde, cerca de 2,2 bilhões de pessoas, aproximadamente 25% da população mundial, não tem acesso à água potável e 4,2 bilhões, cerca de 50% da população mundial, não são contemplados com serviços de esgotamento sanitário. O documento afirma que, embora tenham ocorrido progressos, ainda não é suficiente para preencher lacunas quanto à qualidade dos serviços prestados (WHO *et al.*, 2019).

A adequada gestão de recursos hídricos é dependente do monitoramento da qualidade da água, permitindo, assim, a caracterização e análise da bacia. O monitoramento de corpos hídricos é essencial para várias atividades de gestão, por exemplo: planejamento, outorga, cobrança e enquadramento dos corpos hídricos (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2020).

A gestão dos recursos hídricos no Brasil é realizada a nível de bacia hidrográfica, por meio dos seus comitês. A bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul se estende pelos estados de São Paulo, Minas Gerais e do Rio de Janeiro, configurando-se como uma importante fonte de manutenção de empreendimentos e abastecimento urbano para 15,17 milhões de pessoas. Os municípios de Campos dos Goytacazes, São Francisco de Itabapoana e São João da Barra estão localizados na Região Hidrográfica IX, abrangendo a região da foz do rio Paraíba do Sul (CEIVAP, 2018).

De acordo com Fluminense (2016), a bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul vem enfrentando conflitos quanto a questões de quantidade e qualidade da água, com relação aos usos para abastecimento urbano e industrial, usos agrícolas, transposições e obras para regularização de inundações. Para Pessoa *et al.* (2020), a ausência de tratamento de efluentes domésticos tem sido um relevante fator de depreciação da qualidade das águas dos rios da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul.

Segundo Andrietti *et al.* (2016), os múltiplos usos dos recursos hídricos podem alterar suas características e qualidade de suas águas, como também contribuir para a dinâmica e mudança no equilíbrio ecossistêmico. Diante desse cenário é indispensável discutir o planejamento e a gestão de recursos hídricos de forma eficiente, dando a devida importância ao monitoramento efetivo de parâmetros de qualidade de água que contemplem seus usos.

De acordo com Bagatin *et al.* (2014), a industrialização, o crescimento populacional e a urbanização podem ser responsáveis por demandas crescentes de água doce em todo planeta. Devido aos inúmeros empreendimentos que se localizam na região do Baixo Paraíba do Sul e as dificuldades dos municípios em oferecer uma rede coletora e de tratamento de efluentes que contemplem toda sua área, é importante o constante monitoramento dos recursos hídricos locais para que, dependendo dos resultados obtidos, intervenções possam ser planejadas e executadas visando garantir água de qualidade para os seus múltiplos usos.

Nesse sentido, muitos estudos como Medeiros *et al.* (2016), Oliveira *et al.* (2018), Andrietti *et al.* (2016), Santos *et al.* (2018) e órgãos governamentais ligados às Secretarias Estaduais do Meio Ambiente (ANA, 2020) têm aplicado índices para analisar a qualidade da água de corpos hídricos. Entre os mais utilizados pode-se citar o Índice de Qualidade de Água (IQA) e o Índice de Estado Trófico (IET). A principal vantagem na utilização dos índices é a fácil comunicação com o público leigo, por apresentar um perfil das diversas variáveis analisadas em um único número, com a combinação de diferentes unidades em uma única. Entretanto, a utilização desses índices não é recomendada como substituição a uma avaliação detalhada da qualidade de água de uma bacia hidrográfica e a principal desvantagem na utilização dos mesmos é o fato de que se perde informações de variáveis individuais sem contemplar sua interação (CETESB, 2017).

O Índice de Qualidade de Água foi desenvolvido pela *National Sanitation Foundation* (NSF), em 1970, com o objetivo de monitorar as alterações espaciais e temporais na qualidade da água dos corpos hídricos, para refletir a possível contaminação por ações antrópicas. O IQA-NSF varia de 0 (pior qualidade) a 100 (melhor qualidade) e usa nove parâmetros para sua determinação (oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes, pH, demanda bioquímica de oxigênio, nitrato, fósforo total, temperatura, turbidez e sólidos totais) com seus pesos (W_i) respectivos (BROWN *et al.*, 1970).

O IQA-NSF é uma importante ferramenta para a avaliação da qualidade de água, visto que abrange parâmetros relevantes para análise dos padrões de qualidade. Através dele é possível observar a contaminação dos corpos hídricos causada principalmente pelo lançamento de esgotos domésticos (ANA, 2020). Segundo Tucci (2017), mesmo com a aprovação da lei que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997), o tratamento de esgoto, um dos principais problemas relacionados a qualidade das águas, não foi resolvido. Apesar de ter ocorrido o aumento de cobertura das redes coletoras, não foi suficiente para acompanhar o crescimento populacional e o desenvolvimento do país.

O IQA-NSF é importante para auxiliar a gestão voltada a minimizar os riscos de contaminação da água de abastecimento e reduzir os custos com o tratamento, sendo utilizado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) adaptado às condições do país desde 1975 (ANA, 2020). Portanto, é preciso investir no monitoramento da qualidade da água e controle do uso e ocupação do solo no entorno dos corpos hídricos responsáveis pelo sistema de abastecimento. No processo de monitoramento será determinado quais aspectos presentes na bacia podem ser comprometidos com a má utilização do solo, ocasionando a depreciação dos

parâmetros de qualidade e trazendo riscos à saúde da população atendida por esse recurso (GUNNARSDOTTIR *et al.*, 2012).

O processo de eutrofização pode ser acelerado por ações antrópicas como despejo de efluentes domésticos e industriais e atividades agrícolas. O aumento populacional das cidades tem influenciado na aceleração desse processo devido ao aumento das atividades industriais e despejo de esgoto não tratado nos corpos hídricos. O rápido crescimento de algas, plantas aquáticas e cianobactérias, que caracteriza-se como fase inicial da eutrofização, ocorre com o aumento de nitrogênio e fósforo (TUNDISI, 2003). Segundo Richter e Netto (2005) os custos do tratamento da água para abastecimento público em corpos hídricos que apresentam processos de eutrofização são maiores em decorrência do maior uso de coagulantes e alcalinizantes para ajustes de pH, também ocorre a necessidade de usar polímeros com o intuito de auxiliar a floculação, acelera a obstrução dos filtros e aumenta a quantidade de água para lavagem dos mesmos. É necessário um maior consumo de cloro devido à presença de matéria orgânica e amônia, o que pode diminuir a eficiência da desinfecção e causar problemas de saúde na população atendida por esse manancial.

O Índice de Estado Trófico (IET) possibilita avaliar a condição em que o corpo hídrico se encontra em relação à quantidade de nutrientes que são responsáveis por possíveis processos de eutrofização. Ele foi proposto em 1977 por Robert E. Carlson, pesquisador do *Limnological Research Center* da Universidade de Minnesota. Foi desenvolvido para lagos, abrangendo medições de concentração de fósforo total, clorofila e transparência, e classifica o corpo hídrico em faixas de 0 a 100 (CARLSON, 1977). Por um longo período, esse método foi utilizado também para corpos hídricos com características lóticis, como rios, porém surgiram adaptações. Lamparelli, em 2004, instituiu uma forma de cálculo do IET para rios, sendo atualmente a mais usada para ambientes tropicais (PINHEIRO, SALDANHA E DO NASCIMENTO; 2019).

Vários estudos do monitoramento da qualidade da água são realizados mundialmente, como o de Massoud (2012), em que foi avaliada a qualidade da água ao longo de uma seção recreativa do rio Damour no Líbano usando o IQA, em que se constatou que a qualidade do rio é afetada por atividade antrópicas que ocorrem ao longo de sua bacia. Outro estudo realizado por Sener *et al.* (2017), avaliou a qualidade da água usando o IQA e o SIG no rio Aksu (SW-Turquia), verificando-se que o lago da barragem Karacaören-1 apresenta qualidade de água boa, porém a qualidade é ruim e muito ruim no norte e no sul da bacia do rio. Concluindo-se que a qualidade de água dessa região é fortemente impactada pelos poluentes pontuais e difusos.

No Brasil também existem estudos como os de Andrietti *et al.* (2016), em que se utilizou o IQA e o IET para identificar a qualidade da água superficial do rio Caiabi no estado de Mato Grosso. Os resultados encontrados de IQA indicaram que a qualidade da água do rio Caiabi é boa. O IET evidenciou que no período analisado existia um baixo risco de eutrofização com a maioria dos pontos apresentando um ambiente lótico ultraoligotrófico.

O estudo de Ferreira; Rocha e Figueiredo (2015), analisou a qualidade da água na bacia do Córrego do Rio Acima, São João Del-Rei/MG. As amostras foram analisadas antes e após tratamento. Foi constatado que existiam parâmetros acima do permitido tanto na captação da represa do 14 quanto na captação do córrego do Rio Acima. Após o tratamento, observou-se a diminuição dos riscos de contaminação e padronização dos parâmetros a legislação de referência.

Os efeitos das ações antrópicas e naturais nos corpos hídricos são explicitados por meio de estudos como os citados, sendo assim importantes fontes de informações quando se trata de monitoramento de recursos hídricos. Em vista disto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar, por meio da análise de parâmetros de qualidade de água, do cálculo de Índice de Qualidade de Água (IQA) e cálculo do Índice de Estado Trófico (IET), a qualidade das águas da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, no trecho dos municípios de Campos dos Goytacazes e São João da Barra.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

A bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul abrange 184 municípios, dos quais 88 pertencem ao estado de Minas Gerais, 57 ao Rio de Janeiro e 39 municípios ao estado de São Paulo, contemplando uma área de aproximadamente 62.074 km². O Paraíba do Sul é um rio de grande importância no cenário nacional, visto que passa por três estados de imensa relevância política e econômica, suas águas atravessam 39% do território fluminense, 37% do território mineiro e 24% do paulista (MARENGO, 2015; CEIVAP,2020).

Devido a sua importância para o abastecimento de grande parte da população de sua bacia e para a manutenção de diversos empreendimentos como parques hidrelétricos, atividades minerárias, industriais e agropecuárias, seus recursos necessitam de monitoramento frequente, uma vez que seus diferentes usos podem ocasionar diversos impactos na qualidade e quantidade

de suas águas. Nesse sentido, para sua gestão foi instituído o Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (CEIVAP), tendo como principais atribuições aprovar e acompanhar a execução do Plano de Recursos hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul, a execução da cobrança pelo uso da água e diretrizes para a outorga de direito de uso da água, assim como definir metas de qualidade relacionadas ao enquadramento dos rios da bacia. Cabe também ao comitê acompanhar e direcionar as ações da AGEVAP, que se configura como seu braço executivo.

Embora o CEIVAP tenha a atribuição de definir algumas metas para realização do enquadramento das águas do rio Paraíba do Sul, o último enquadramento válido foi realizado pela Portaria GM/086 do Ministério do Interior (04/06/1981), onde, da cidade de Campos dos Goytacazes até a sua foz, região do presente estudo, foi considerado como Classe 3 (FACIOLI; BEZERRA, 2015).

Com relação aos municípios próximos à foz do rio Paraíba do Sul, Campos dos Goytacazes, São João da Barra e São Francisco de Itabapoana estão localizados na Região Norte Fluminense do Estado do Rio de Janeiro. Campos dos Goytacazes possui uma área de 4.037 km² e está a uma distância de 279 km da cidade do Rio de Janeiro, sendo, em área, o maior município do Estado. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) possui uma população estimada de 511.168 habitantes no ano de 2020. São João da Barra possui uma área de 454,67 km² e corresponde a 4,7% da região Norte Fluminense, sua área urbana estimada é de 183,40 km² e a área rural de 276,60 km². O município possui uma população estimada de 36.423 habitantes para o ano de 2020. Já São Francisco do Itabapoana possui uma área de 1.118,04 km², com uma população estimada para o ano de 2020 de 42.210 habitantes.

De acordo com os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2020), a cidade de Campos dos Goytacazes no ano de 2010 contava com apenas 57,1 % dos domicílios com esgotamento sanitário adequado, a cidade de São João da Barra possuía nesse mesmo período, 37,3 % de domicílios com esgotamento adequado, já o município de São Francisco de Itabapoana possuía apenas 13% de domicílios com esgotamento sanitário adequado.

De acordo com os Estudos Socioeconômicos dos Municípios do Estado do Rio de Janeiro, realizado pelo Tribunal de Contas Estadual (2018), as atividades econômicas com mais relevância na região Norte Fluminense estão relacionadas a indústria de petróleo e gás, com destaque para as cadeias de construção civil, alimentos e bebidas, máquinas e equipamentos, metalmeccânica e minerais não metálicos. No ano de 2013, tais atividades corresponderam a 58% do Produto Interno Bruto (PIB) da região, com projeções indicando uma aceleração do crescimento industrial, incluindo cadeias como naval, siderúrgica, cimenteira e logística.

2.2 Coleta das amostras

As amostras foram coletadas superficialmente a lâmina d'água, em três saídas de campo (09/04/19; 10/09/19 e 03/12/19) e em seis pontos do rio Paraíba do Sul, nos municípios de Campos dos Goytacazes e São João da Barra (Figura 1). Para realização das amostragens foi utilizado um barco e foram seguidas as orientações que constam no Manual Prático de Análise de Água da FUNASA (2013). Resumidamente, foram utilizados frascos de polipropileno de 500 mL para coletar as amostras destinadas as análises físico-químicas e frascos com capacidade de 100 mL, previamente autoclavados, para coletar as amostras designadas às análises microbiológicas. As vazões do rio nos dias de coleta foram obtidas por meio do aplicativo HidroWeb, os dados utilizados foram os da Estação n° 5897400, localizada no município de Campos dos Goytacazes-RJ.

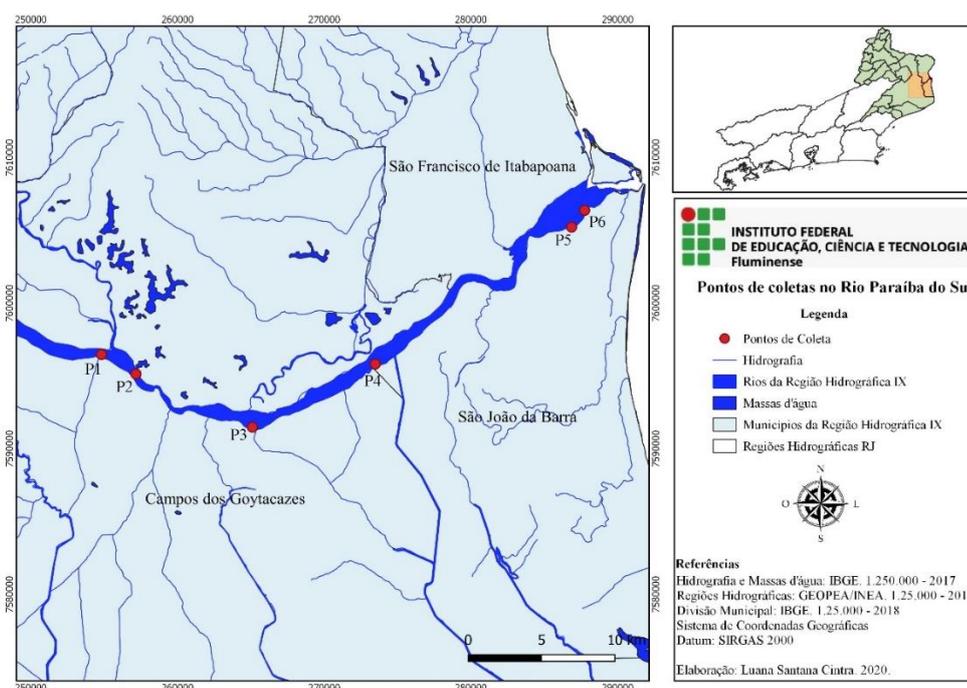


Figura 1. Pontos de coleta no rio Paraíba do Sul.

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

As coordenadas geográficas dos pontos de coleta são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Pontos de coleta nos municípios Campos dos Goytacazes e São João da Barra.

Pontos	Descrição	Coordenadas
P1	Confluência rio Muriaé com o rio Paraíba do Sul	21°43'06.05"S 41°22'13.06"W

P2	Entrada da área urbana do município de Campos dos Goytacazes	21°43'50.89"S 41°20'52.05"W
P3	Saída da área urbana do município de Campos dos Goytacazes	21°45'53.3"S 41°16'12.7"W
P4	Saída da localidade de Barcelos-município de São João da Barra	21°43'36.3"S 41°11'24.2"W
P5	Entrada da sede do município de São João da Barra	21°38'36.6"S 41°03'34.1"W
P6	Próximo ao ponto de captação da Estação de Tratamento de Água de São João da Barra	21°37'59.5"S 41°03'02.7"W

2.3 Análises físico-químicas e microbiológicas

As análises das amostras coletadas foram realizadas no Laboratório de Análise e Monitoramento das Águas (LabFoz) do Polo de Inovação Campos dos Goytacazes (PICG) do Instituto Federal Fluminense (IFF). Os métodos utilizados para realização das análises dos referidos parâmetros seguiram o que preconiza o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23st Edition* (2017). As determinações realizadas foram: pH, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, sólidos totais, salinidade, turbidez, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, nitrato, fósforo total, temperatura, coliformes totais, *Escherichia coli* e coliformes termotolerantes. A maioria dos parâmetros foi analisada em triplicata, com exceção de temperatura, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio e as análises microbiológicas.

De forma mais detalhada, os parâmetros oxigênio dissolvido e temperatura foram realizados nos próprios locais de coleta com o auxílio de um oxímetro de campo Alfakit, AT 160. A turbidez foi determinada por turbidimetria a partir da utilização de turbidímetro de bancada Digimed, DM - TU - EBC. A demanda bioquímica de oxigênio (DBO_{5,20}) foi determinada com o auxílio do aparelho de medição de DBO Aqualytic (Modelo AL 606).

O teste do parâmetro pH foi realizado utilizando pHmetro de bancada da Thermo, Orion Star A 214. A condutividade elétrica e os sólidos totais dissolvidos foram obtidos com o auxílio de um condutivímetro de bancada da Tecnal, Tec - 4 MP. A salinidade, em gramas (de sal) por litro (de solução), ou seja, por mil (‰), foi determinada por meio de equação de conversão a partir da condutividade. Para o cálculo foi necessário converter a unidade de medição da condutividade de microsiemens por centímetro ($\mu\text{S cm}^{-1}$) para milisiemens por centímetro (mS cm^{-1}), em seguida elevou-se a potência de 1,0878 e multiplicou-se por 0,4665.

Para determinação do número mais provável por 100 mL (NMP/100 mL) de coliformes totais e *Escherichia coli* utilizou-se o Método Colilert® com tempo de incubação de 24h a $35,0\pm 0,5$ °C. Os dados de coliformes termotolerantes foram obtidos a partir dos resultados de *Escherichia coli* e cálculo de conversão proposto pela CETESB (2017). De acordo com o relatório de Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo, Apêndice D, multiplicando-se o valor de *E. coli* por 1,25 chega-se à estimativa, em número mais provável por 100 mL, de coliformes termotolerantes para mesma amostra.

A análise do nitrato nas amostras foi realizada com auxílio de um cromatógrafo de íons da Metrohm (modelo 883 Basic IC Plus), com sistema de supressão, acoplado a um amostrador automático (modelo 863 Compact Autosampler) e a um detector de condutividade elétrica da Metrohm. A coluna, a fase móvel e a solução ácida para o sistema de supressão foram: Metrosep A Supp 5 - 150/4.0 da Metrohm, uma mistura de NaHCO_3 ($1,0 \text{ mmol L}^{-1}$) com Na_2CO_3 ($3,2 \text{ mmol L}^{-1}$) e uma solução de H_2SO_4 ($0,10 \text{ mol L}^{-1}$), respectivamente. A pressão do sistema, o volume injetado e o tempo total da corrida foram: 10,0 mPa, 20,0 μL e 20 minutos, respectivamente. Previamente a injeção no sistema cromatográfico, a amostra foi passada por filtro de seringa contendo membrana de acetato de celulose hidrofílico com porosidade de 45 μm e diâmetro de 25 mm da Filtrilo. O método da padronização externa foi o utilizado para quantificação e a curva analítica foi obtida a partir de soluções com concentrações de nitrato iguais a 0,10; 1,00; 2,50; 5,00 e 10,00 mg L^{-1} preparadas a partir da diluição de uma solução padrão, adquirida da SpecSol/Brasil, com o íon na concentração de 1000 mg L^{-1} . A equação da reta e o coeficiente de correlação (r) obtidos foram: $y = 0,1214 x - 0,1891$ e 0,9987, respectivamente. Para o referido método de análise, foram determinados ainda os limites de quantificação (LQ) e de detecção (LD), utilizando o método baseado em parâmetros da curva analítica como preconizado por Ribani *et al.* (2004), sendo obtidos os valores de 0,0689 e 0,0228 mg L^{-1} para o LQ e LD, respectivamente.

O fósforo total foi analisado por espectroscopia UV/Vis, através do método do ácido ascórbico, após preparo adequado das amostras. De forma mais detalhada, em um volume de 500 mL da amostra foi adicionado 1,00 mL de H_2SO_4 , 30,00% m/v, e 15,00 mL de $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$, 4,00% m/v. A mistura resultante foi aquecida até volume menor que 100 mL, posteriormente, foi adicionado a mesma, fenolftaleína, solução de NaOH, $6,00 \text{ mol L}^{-1}$, até que a solução ficasse rosa claro, e o volume final foi ajustado para 100,0 mL. Após o preparo inicial da amostra, a análise seguiu o procedimento descrito no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23st Edition* (2017) item 4500-P E. A curva analítica para essa determinação foi obtida a partir de soluções com concentrações de fósforo iguais a 0,200; 0,100; 0,0500; 0,0250

e 0,0125 mg L⁻¹ preparadas a partir da diluição de uma solução padrão, adquirida da Hexis/Brasil, com o fósforo na concentração de 1000 mg L⁻¹ e que passaram pelo mesmo processo de concentração das amostras. A equação da reta e o coeficiente de correlação (r) obtidos foram: $y = 2,4283 x + 0,0432$ e 0,9940, respectivamente.

Os sólidos totais foram determinados a partir de um volume de 50,00 mL de amostra o qual foi transferido para cápsula de porcelana e mantido em aquecimento, em estufa (SolidSteel, modelo SSDi – 85 L), a 105 °C até peso constante.

Os dados obtidos por meio das análises dos parâmetros passaram por tratamento estatístico por meio do cálculo de médias, desvio padrão e ANOVA de fator duplo sem repetição com grau de significância de 5%, para verificar a existência de diferenças significativas entre as três saídas de campo e também entre os pontos de coleta.

2.4 Cálculo do Índice de Qualidade de Água (IQA-NSF)

O Índice de Qualidade de Água (IQA) foi desenvolvido nos Estados Unidos pela *National Sanitation Foundation* (NSF). Ele foi fundamentado por meio de uma pesquisa implementada por Brown *et al.* (1970), com 70 especialistas participando até a etapa final, em que foram selecionados 9 parâmetros (Tabela 2) apontados como mais representativos para a análise da qualidade da água dos corpos hídricos. Pesticidas e metais tóxicos não foram incluídos no índice, pois, segundo os participantes da pesquisa, necessitariam de uma análise independente. Desta forma, os parâmetros utilizados no cálculo do IQA-NSF são, em sua maioria, indicadores de contaminação causada pelo lançamento de esgotos domésticos (ANA, 2020).

Neste índice, cada parâmetro possui um valor de qualidade (q), que é obtido em gráficos específicos de qualidade em função de sua concentração ou a diferença entre a medida e um valor padrão, além de um respectivo peso (w) que pode ser observado na Tabela 2 (BROWN *et al.*, 1970; MCCLELLAND, 1974; SPERLING, 2014).

Tabela 2. Parâmetros de qualidade da água usados para o cálculo do IQA-NSF e seus respectivos pesos.

PARÂMETROS	PESO (W)
Oxigênio dissolvido (% de saturação)	0,17
Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)	0,15
Potencial hidrogeniônico (pH)	0,12
Demanda bioquímica de oxigênio (DBO _{5,20}) (mg L ⁻¹)	0,10
Temperatura da água (°C)	0,10

Nitrato (mg de N L ⁻¹)	0,10
Fósforo total (mg de PO ₄ ³⁻ L ⁻¹)	0,10
Turbidez (UNT)	0,08
Sólidos totais (mg L ⁻¹)	0,08

Fonte: BROWN *et al.*, 1970; MCCLELLAND, 1974; SPERLING, 2014.

A equação 1 (MCCLELLAND, 1974; SPERLING, 2014), abaixo, foi a utilizada para o cálculo do IQA-NSF no presente trabalho.

(1)

$$IQA - NSF = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i}$$

Onde:

IQA-NSF: Índice de Qualidade das Águas, variando entre 0 e 100;

q_i: qualidade do i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva “curva média de variação de qualidade”, em função de sua concentração ou medida;

w_i: peso correspondente ao i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade;

n: número de variáveis que entram no cálculo do IQA-NSF.

O cálculo do IQA-NSF foi realizado com o auxílio de uma planilha do software Excel, objetivando automatizá-lo. E, após o seu cálculo, foi feita classificação de acordo com o quadro apresentado a seguir.

Quadro 1. Classificação do IQA-NSF.

Categoria	Ponderação
EXCELENTE	100 ≥ IQA ≥ 90
BOA	90 > IQA ≥ 70
MÉDIA	70 > IQA ≥ 50
RUIM	50 > IQA ≥ 25
MUITO RUIM	25 > IQA ≥ 0

Fonte: ANA (2020); NOORI *et al.*, (2019).

2.5 Índice de Estado Trófico (IET)

A eutrofização de corpos hídricos é responsável por inúmeros fatores indesejáveis, como a diminuição da biodiversidade aquática, a redução na navegação e na capacidade de transporte, a contaminação da água destinada ao abastecimento público e, ainda, a produção de energia hidroelétrica pode sofrer impactos devido à presença de macrófitas aquáticas. O IET tem como objetivo classificar os corpos hídricos em diferentes graus de trofia, isto é, avaliar a qualidade de água, por meio da análise do enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo de algas e infestação de macrófitas aquáticas (ANA, 2018).

No presente trabalho calculou-se o IET seguindo a metodologia proposta por Lamparelli (2004), Equação 2, com base nos valores de fósforo total, que devem ser entendidos por uma medida do potencial de eutrofização, sendo o fósforo um atuante no processo.

(2)

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

Em que:

IET_L = Índice de Estado Trófico (proposto por Lamparelli, 2004);

PT = Fósforo Total ($\mu\text{g L}^{-1}$).

Os valores obtidos pela equação anterior foram interpretados a um nível de ponderação, apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Valores de IET para os diferentes níveis tróficos.

Classe	Valor
Ultraoligotrófico	≤ 47
Oligotrófico	$47 < IET \leq 52$
Mesotrófico	$52 < IET \leq 59$
Eutrófico	$59 < IET \leq 63$
Supereutrófico	$63 < IET \leq 67$
Hipereutrófico	> 67

Fonte: Lamparelli (2004).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise dos Parâmetros

Os resultados obtidos para os parâmetros avaliados nas três saídas de campo são apresentados nas Tabelas 4 e 5, onde os valores em negrito são aqueles em desconformidade com a legislação vigente.

Em relação à salinidade (Tabela 4), as amostras de todos os pontos analisados nas três saídas se mostraram adequadas para o enquadramento do corpo hídrico como água doce, visto que apresentaram valores abaixo de 0,5‰, conforme estabelecido pela CONAMA nº 357/05. Resultados diferentes foram encontrados por Silva *et al.* (2018), no monitoramento da qualidade da água da foz do rio Santa Maria em Vitória, em que obtiveram, em dois pontos de coleta, valores de água considerada salina ($\geq 30\text{‰}$) e relacionaram tais valores à maré alta dos dias de coleta.

De acordo com Von Sperling (2005), valores diferenciados de pH podem ser ocasionados pela presença de sólidos e gases dissolvidos nos corpos hídricos. Segundo a CONAMA nº 357/05 o pH deve estar entre 6 e 9 para água doce/classe 3. Os valores encontrados para esse parâmetro nas três saídas de campo estão de acordo com o estabelecido na legislação. Foi possível observar que ao longo de todos os pontos na segunda saída os valores de pH foram maiores quando comparados às demais saídas, o que pode ter sido ocasionado pela vazão mais baixa e conseqüentemente maior concentração de constituintes responsáveis pelo aumento deste parâmetro, sendo o maior valor encontrado no ponto P5 na saída 2, de 8,62. Lach *et al.* (2020), em sua avaliação da qualidade do rio Hercílio, constatou valores de pH sem variações significativas ao longo dos seus pontos (5,33-5,66), entretanto, os seus resultados não apresentaram conformidade com a legislação nº CONAMA 357/2005.

Tabela 4. Valores médios e estimativas do desvio padrão, entre parênteses, obtidos para pH, turbidez, sólidos totais dissolvidos, sólidos totais, salinidade e condutividade elétrica, datas e vazões referentes às saídas de campo e valores permitidos pela legislação vigente.

PARÂMETROS	PONTOS DE COLETA – SAÍDAS						*CONAMA nº 357/05
	SAÍDA 1 (09/04/2019 – 459 m ³ /s)						
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	
Ph	7,90 (0,01)	7,91 (0,00)	7,91 (0,02)	7,86 (0,01)	7,97 (0,01)	7,97 (0,00)	6,0 - 9,0

Turbidez (UNT)	8,09 (0,17)	9,98 (0,17)	8,60 (0,43)	8,47 (0,16)	9,57 (0,21)	9,81 (0,60)	100
STD (ppm)	40,17 (0,04)	40,34 (0,04)	40,38 (0,01)	40,45 (0,20)	40,63 (0,01)	41,27 (0,03)	500
Sólidos T. (mg L⁻¹)^x	22	24	22	34	32	30	SR
Salinidade (‰)	0,027 (0,00)	0,027 (0,00)	0,027 (0,00)	0,027 (0,00)	0,027 (0,00)	0,028 (0,00)	≤ 0,5
CE (μS cm⁻¹)	73,04 (0,08)	73,35 (0,07)	73,41 (0,02)	73,55 (0,35)	73,87 (0,01)	75,04 (0,06)	SR
SAÍDA 2 (10/09/2019 – 205 m³/s)							
Ph	8,18 (0,00)	8,20 (0,00)	8,30 (0,02)	8,13 (0,00)	8,62 (0,01)	8,24 (0,02)	6,0 - 9,0
Turbidez (UNT)	2,32 (0,16)	2,13 (0,13)	6,36 (0,11)	4,44 (0,31)	6,61 (0,11)	9,36 (0,55)	100
STD (ppm)	44,28 (0,23)	43,88 (0,07)	44,20 (0,06)	44,42 (0,04)	46,05 (1,66)	57,62 (0,05)	500
Sólidos T. (mg L⁻¹)^x	72	48	54	82	60	42	SR
Salinidade (‰)	0,030 (0,00)	0,030 (0,00)	0,030 (0,00)	0,030 (0,00)	0,031 (0,00)	0,040 (0,00)	≤ 0,5
CE (μS cm⁻¹)	80,52 (0,42)	79,78 (0,13)	80,36 (0,11)	80,76 (0,08)	83,73 (3,01)	104,76 (0,09)	SR
SAÍDA 3 (03/12/2019 – 761 m³/s)							
pH	7,93 (0,02)	7,80 (0,03)	7,80 (0,01)	7,77 (0,01)	7,57 (0,02)	7,69 (0,02)	6,0 - 9,0
Turbidez (UNT)	106,67 (0,58)	134,67 (0,58)	112,33 (0,53)	110,00 (1,00)	142,00 (1,00)	111,33 (0,58)	100
STD (ppm)	45,08 (0,00)	43,59 (0,01)	46,07 (0,02)	49,16 (0,04)	51,81 (0,06)	49,80 (0,03)	500
Sólidos T. (mg L⁻¹)^x	32	238	238	260	204	126	SR
Salinidade (‰)	0,031 (0,00)	0,029 (0,00)	0,031 (0,00)	0,033 (0,00)	0,036 (0,00)	0,034 (0,00)	≤ 0,5
CE (μS cm⁻¹)	81,96 (0,01)	79,27 (0,02)	83,76 (0,04)	89,39 (0,08)	94,22 (0,10)	90,63 (0,06)	SR

Onde: pH: potencial hidrogeniônico; CE: condutividade elétrica; STD: sólidos totais dissolvidos; Sólidos T.: Sólidos Totais; RS: Sem referência na legislação; ^x Não realizado em triplicata. *Valores máximos, mínimos ou faixa permitida considerando-se água doce/classe 3.

Segundo a CETESB (2016), níveis elevados de turbidez podem prejudicar o processo de fotossíntese da vegetação enraizada ou submersa nos corpos hídricos, sendo capaz de suprimir a produtividade de peixes e depreciar o equilíbrio ecossistêmico e a qualidade da água. Todos os valores de turbidez encontrados nas saídas 1 e 2 se mostraram dentro do preconizado

pela CONAMA nº 357/05. Na primeira saída, o valor mais alto foi encontrado no ponto P2 (9,98 UNT), localizado na entrada da área urbana do município de Campos dos Goytacazes.

Os valores de turbidez encontrados ao longo dos pontos na saída 3 foram os maiores quando comparados às demais saídas, sendo o ponto P5 o maior valor (142,00 UNT). Para essa saída, todos os resultados de turbidez obtidos se mostraram em desacordo com a legislação de referência e indicam que a vazão mais elevada no período da última coleta levou ao acréscimo de sedimentos provavelmente devido ao aumento do escoamento superficial na área da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul. Rocha, Silva e Freitas (2016), obtiveram médias de turbidez e condutividade maiores no período chuvoso, e associaram tais resultados ao efeito da pluviometria, em consequência do aumento do escoamento superficial. Resultado semelhante foi encontrado por Lopes *et al.* (2005), na microbacia hidrográfica do Córrego Rico, em que se constatou o aumento de material suspenso associado ao aumento acentuado da turbidez em períodos chuvosos.

Os valores de STD não apresentaram grandes variações ao longo dos pontos nas saídas 1 e 3. Na saída 1, chegou a 41,27 ppm no ponto P6, enquanto na saída 3 o maior valor foi de 51,81 ppm no ponto P5. Já para a saída 2 foi observada maior variação entre os pontos para esse parâmetro, sendo o maior e menor valores encontrados de 43,88 e 57,00 ppm, respectivamente. Todas as saídas apresentaram valores em conformidade com a legislação de referência. Resultados diferentes foram encontrados por Brovini *et al.* (2019), onde foi possível constatar altos valores de STD no ribeirão Espírito Santo em Juiz de Fora, em desconformidade com a legislação CONAMA nº 357/05. Tais valores foram associados ao aporte de efluentes domésticos e industriais.

Segundo Antoneli e Thomaz (2007), a combinação de fatores morfométricos e a descarga líquida nos corpos hídricos são intimamente ligados à produção de sedimentos, o que influencia diretamente nos valores de sólidos totais. A última saída foi responsável pelos valores mais altos desse parâmetro, o que pode estar diretamente relacionado a ocorrência da maior vazão (761 m³/s), com exceção do ponto P1, localizado na confluência do rio Muriaé com o rio Paraíba do Sul, que apresentou valor de 32 mg L⁻¹, indicando que, possivelmente, o incremento de sólidos totais não tenha sido proveniente do rio Muriaé na saída em questão. No estudo de Leitão *et al.* (2015), não foi possível verificar uma correlação entre períodos de chuva e aumento da concentração de turbidez e sólidos totais.

No Brasil não é dado um limite aos valores de condutividade elétrica pela Resolução CONAMA nº 357/05. No entanto, o documento ODS 6 no Brasil: Visão da Ana Sobre os Indicadores, produzido pela Agência Nacional de Águas (2019), preconiza a possibilidade de

utilização de uma referência internacional para esse parâmetro mediante uma correlação com os sólidos totais dissolvidos, tendo como limite para CE o valor de $782 \mu\text{S cm}^{-1}$. É possível observar (Tabela 4) que os valores de condutividade encontrados se mostraram dentro do preconizado pela referência internacional, com os menores valores na segunda saída quando comparado às demais. O ponto P6, localizado próximo ao ponto de captação da Estação de Tratamento de Água de São João da Barra, na segunda saída, apresentou o maior valor de condutividade encontrado ($104,76 \mu\text{S cm}^{-1}$).

Além dos íons mais comuns, segundo Xavier (2017), parâmetros como bactérias termotolerantes, excesso de alumínio e compostos nitrogenados devem estar associados à condutividade elétrica, uma vez que são fatores que influem na acidez do meio e consequentemente nos valores de condutividade. Para Alves *et al.* (2017), valores elevados de CE, encontrados em seu estudo, podem estar relacionados a atividades de preparo do solo, plantios e aplicação de insumos agrícolas, que podem ser carregados para os corpos hídricos por períodos de maior incidência pluviométrica.

Tabela 5. Valores médios e estimativas do desvio padrão, entre parênteses, obtidos para oxigênio dissolvido, temperatura, demanda bioquímica de oxigênio, nitrato, fósforo total e parâmetros microbiológicos, datas e vazões referentes às saídas de campo e valores permitidos pela legislação vigente.

PARÂMETROS	PONTOS DE COLETA – SAÍDAS						*CONAMA nº 357/05
	SAÍDA 1 (09/04/2019 – 459 m ³ /s)						
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	
OD (mg L ⁻¹) ^x	5,57	6,59	9,32	8,83	10,72	11,20	≥ 4
Temperatura (°C) ^x	28,9	28,3	29,4	28,3	32,7	32,2	SR
DBO _{5,20} (mg O ₂ L ⁻¹) ^x	3	4	4	4	8	8	≤10
Nitrato (mg de N L ⁻¹)	0,5894 (0,0031)	0,6796 (0,0016)	0,6616 (0,0047)	0,6255 (0,0032)	0,7000 (0,0047)	0,6187 (0,0061)	≤ 10
Fósf. T. (mg de P L ⁻¹) ^x	0,069	0,044	0,058	0,039	0,047	0,060	≤ 0,15
Coli. T. (NMP/100mL) ^x	> 2419,6	> 2419,6	> 2419,6	> 2419,6	> 2419,6	> 2419,6	SR
<i>E. coli</i> (NMP/100mL) ^x	648,8	920,8	816,4	365,4	461,1	488,4	SR
Coli. Term. (NMP/100mL) ^x	811,0	1151,0	1020,5	456,7	576,4	610,5	≤1000
SAÍDA 2 (10/09/2019 – 205 m ³ /s)							
OD (mg L ⁻¹) ^x	5,41	7,57	7,79	8,36	3,34	9,67	≥ 4
Temperatura (°C) ^x	24,8	26,8	28,0	27,8	28,8	24,8	SR
DBO _{5,20} (mg O ₂ L ⁻¹) ^x	4	3	5	4	5	5	≤10
Nitrato (mg de N L ⁻¹)	1,1652 (0,0106)	1,1832 (0,0090)	1,1471 (0,0016)	1,1494 (0,0016)	1,0545 (0,0016)	1,0500 (0,0045)	≤ 10
Fósf. T. (mg de P L ⁻¹) ^x	0,020	0,014	0,020	0,033	0,028	0,032	≤ 0,15

Coli. T. (NMP/100mL)^x	> 2419,6	> 2419,6	> 2419,6	> 2419,6	> 2419,6	> 2419,6	SR
E. coli (NMP/100mL)^x	27,5	18,3	39,3	19,9	21,8	727	SR
Coli. Term. (NMP/100mL)^x	34,4	22,9	49,1	24,9	27,0	908,7	≤1000
SAÍDA 3 (03/12/2019 – 761 m³/s)							
OD (mg L⁻¹)^x	7,46	6,88	6,82	6,63	6,00	6,14	≥ 4
Temperatura (°C)^x	25,8	25,6	24,1	24,4	27,2	24,5	SR
DBO_{5,20} (mg O₂ L⁻¹)^x	2	2	2	5	5	4	≤10
Nitrato (mg de N L⁻¹)^x	0,8310 (0,0029)	0,8197 (0,0029)	0,7090 (0,0106)	0,7452 (0,0075)	0,7520 (0,0061)	0,7497 (0,0029)	≤ 10
Fósf. T. (mg de P L⁻¹)^x	0,042	0,030	0,036	0,040	0,028	0,019	≤ 0,15
Coli. T. (NMP/100mL)^x	>2.419,6	1732,9	> 2.419,6	> 2.419,6	> 2.419,6	>2.419,6	SR
E. coli (NMP/100mL)^x	1986,3	1553,1	1413,6	1119,9	1299,7	1046,2	SR
Coli. Term. (NMP/100mL)^x	2482,9	1941,4	1767,0	1399,9	1624,6	1307,8	≤1000

Onde: Coli. T.: coliformes totais; Coli. Term: coliformes termotolerantes; *E. coli*: *Escherichia coli*; NMP: número mais provável; DBO_{5,20}: demanda bioquímica de oxigênio; OD: oxigênio dissolvido; Fósf. T.: Fósforo Total; SR: Sem referência na legislação; ^x Não realizado em triplicata *Valores máximos e mínimos permitidos para dessedentação de animais ou para os demais usos, considerando água doce/classe 3.

De acordo com Derísio (2012), a autodepuração de corpos hídricos ocorre por meio do consumo do oxigênio dissolvido, uma vez que a redução da matéria orgânica ocorre pela ação de bactérias aeróbias. Em relação aos resultados obtidos para OD ao longo de todos os pontos analisados nas saídas 1 e 3, constatou-se a conformidade com a CONAMA nº 357/05. Na saída 1, o menor valor obtido foi no ponto P1, de 5,57 mg L⁻¹, enquanto na saída 3 foi no ponto P5, de 6,00 mg L⁻¹. Na saída 2, o ponto P5, localizado na entrada da Sede do município de São João da Barra, apresentou valor desconforme ao estabelecido na legislação, de 3,34 mg L⁻¹. No estudo de Garcia (2013), foram avaliados parâmetros de qualidade da água do rio Paraíba do Sul na cidade de Lorena – SP, os níveis de concentração de OD apresentaram-se abaixo do limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 em 40% dos dias analisados.

Segundo Von Sperling (2005), a temperatura é um parâmetro importante pois sua elevação no meio hídrico pode ocasionar aumento nas taxas de reações químicas e biológicas, diminuição da solubilidade de gases e aumento da transferência dos mesmos para a atmosfera. Foi possível observar que na primeira saída ocorreu uma maior variação nos valores de temperatura ao longo dos 6 pontos, tendo como menores valores os pontos P2 e P4 (28,3 °C), e maior valor encontrado no ponto P5 (32,7 °C). Nas saídas 2 e 3, novamente no ponto P5, localizado próximo à entrada da sede do município de São João da Barra, foi possível observar os maiores valores de temperatura, de 28,8 °C e 27,2 °C, respectivamente. Vale ressaltar que

próximo a esse ponto fica localizada a estação de tratamento de efluentes do município. A variação da temperatura observada no estudo ao longo dos pontos também pode ser atribuída a capacidade da água de absorver radiação solar no decorrer do dia.

De acordo com a CETESB (2016), lançamentos de despejos industriais e efluentes de sistemas de resfriamento podem causar elevações de temperatura acentuadas. No estudo de Fia *et al.* (2015), foi observado resultados semelhantes desse parâmetro, na microbacia do Ribeirão Vermelho – MG, em que ocorreu uma diferença significativa de temperatura entre verão e inverno, e uma acentuação nos valores conforme os pontos se aproximavam da foz.

A legislação CONAMA nº 357/05 preconiza que a concentração de nitrato, expressa em função do nitrogênio, não pode ser superior a 10 mg de N L⁻¹, para corpos hídricos de água doce classe 3. Analisando os valores encontrados nas três saídas, foi possível constatar a conformidade com a legislação de referência em todos os pontos. A segunda saída foi responsável pelos maiores valores em todos os pontos quando comparada às demais, com o valor máximo encontrado no ponto P2 (1,1832 mg de N L⁻¹). Em seu estudo sobre a qualidade de água do rio Índio sob influência de atividades agroindustriais e de urbanização, Lunelli *et al.* (2019), também obtiveram valores para os parâmetros nitrito e nitrato dentro do preconizado pela legislação de referência.

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO_{5,20}) é usada para representar o valor da poluição causada pela introdução de matéria orgânica nos corpos hídricos, correspondendo à quantidade de oxigênio consumida por microrganismos presentes nos efluentes domésticos ou águas poluídas, durante a oxidação biológica (SPERLING, 1996). Ao longo dos pontos analisados nas três saídas, todos se mostraram em conformidade com o limite preconizado na CONAMA nº 357/05 (10 mg O₂ L⁻¹). Na saída 1, dois pontos (P5 e P6) apresentaram valores próximos ao limite estabelecido pela legislação, ambos com os valores 8,0 mg O₂ L⁻¹. Garcia (2013), obteve resultados semelhantes em seu estudo, realizado no rio Paraíba do Sul, em que todos os resultados de DBO_{5,20} se mostraram dentro do limite estabelecido pela resolução do CONAMA nº 357/2005.

De acordo com Pessoa *et al.* (2020), parâmetros como fósforo total, nitrogênio amoniacal, OD e DBO_{5,20} são fundamentais por descrever a integridade de corpos hídricos, em virtude de sua relação com impactos causados por lançamento de carga orgânica. A CONAMA nº 357/05 estabelece, para água doce classe 3, o valor menor ou igual a 0,15 mg de fósforo total por L⁻¹. Dessa forma, todas as amostras analisadas, para o parâmetro fósforo total, se mostraram em conformidade com a legislação. Na primeira saída foram encontrados os maiores valores, chegando a 0,069 mg de P L⁻¹ no ponto P1. Valores superiores (0,15 a 0,36 mg de P L⁻¹) foram encontrados por Alves *et al.* (2017), no Ribeirão das Abóboras, em Rio Verde - GO, que foram

associados à presença de agroindústrias e a aplicação de fertilizantes fosfatados carreados no período chuvoso pelo aumento de escoamento superficial.

De acordo com a CONAMA nº 357/05, os coliformes termotolerantes não deverão ultrapassar o limite de 2500 NMP/100 mL para uso de recreação de contato secundário. Para dessedentação animal o limite estabelecido é de 1000 NMP/100 mL, já para os demais usos o limite é de 4000 NMP/100 mL de coliformes termotolerantes. Os resultados obtidos na saída 1 mostram dois pontos (P2 e P3) desconformes para dessedentação animal, porém adequados para os demais usos. Foi possível observar que os valores encontrados para esse parâmetro na segunda saída foram menores na maioria dos pontos analisados, com exceção do ponto P6, onde foi encontrado o valor de 908,7 NMP/100 mL. Segundo o trabalho de Souza *et al.* (2014), em que foi analisada a qualidade da água do rio Almada, os valores de coliformes termotolerantes por 100 mL foram desconformes com a legislação de referência para recreação de contato secundário, sendo sua elevação relacionada a períodos chuvosos.

Na terceira saída, foi possível observar que todos os valores encontrados de coliformes termotolerantes se mostraram em desconformidade com o preconizado para dessedentação animal pois estão acima de 1000 NMP/100 mL, porém estão dentro do estabelecido para recreação de contato secundário e demais usos, segundo legislação pertinente. Faiad, Soares e Oliveira (2018), ao analisarem séries históricas de dados de qualidade das águas do rio Paraíba do Sul, constataram que os indicadores mais relevantes para a bacia são coliformes termotolerantes, *E. coli*, fósforo total, ferro dissolvido, manganês total, oxigênio dissolvido, DBO_{5,20} e turbidez, tendo em vista as concentrações elevadas desses parâmetros encontradas em seu estudo ao longo de toda calha principal e principais afluentes.

Os resultados analíticos do parâmetro coliformes totais se mostraram acima da capacidade de detecção da técnica utilizada (> 2419,6) em todas as saídas, exceto no ponto P2, na saída 3, com o valor de 1732,90 NMP/100 mL.

Os valores de *E. coli* encontrados foram mais baixos na saída 2, sendo o valor mais alto no ponto P6 com 727 NMP/100 mL. Observou-se que os resultados analíticos encontrados aumentaram conforme o aumento da vazão nas diferentes saídas de campo. Portanto, na saída 3, onde a vazão constatada foi de 761 m³/s, foram obtidos os maiores valores para esse parâmetro, sendo no ponto P1 o valor máximo encontrado (1986 NMP/100 mL). Segundo a CETESB (2016), a presença de valores elevados de coliformes termotolerantes, incluindo a *Escherichia coli*, podem indicar a descarga de efluentes domésticos sem tratamento no corpo hídrico. Piazi, Silveira e Lopes (2018), analisaram parâmetros de balneabilidade da porção mineira do rio Paraíba do Sul, onde foi possível constatar que o parâmetro *E.coli* apresentou o

pior desempenho, quando comparado a outros parâmetros de qualidade, podendo indicar poluição por esgoto doméstico.

Após a realização do cálculo do teste ANOVA para todos os parâmetros analisados (Tabela 6), com grau de significância de 5%, foi possível observar que a localização dos pontos de amostragem não exerceu influência sobre os parâmetros, exceto a demanda bioquímica de oxigênio, que variou entre os pontos, mas não entre as saídas. A quantidade de parâmetros que variaram significativamente entre as saídas pode ser um indicativo da influência das diferentes vazões nos resultados obtidos. Os parâmetros oxigênio dissolvido e sólidos totais dissolvidos não apresentaram variações significativas entre os pontos e saídas.

Tabela 6. Teste Estatístico ANOVA de fator duplo sem repetição.

Parâmetros	Pontos			Saídas		
	F	p-valor	Hipótese aceita	F	p-valor	Hipótese aceita
Ph	0,28928	0,908299	H ₀	19,96998	0,000322	H ₁
Turbidez (UNT)	1,084083	0,42519	H ₀	338,4051	6,54E-10	H ₁
CE (µS cm ⁻¹)	2,15032	0,141782	H ₀	9,193417	0,005425	H ₁
STD (ppm)	1,446899	0,288968	H ₀	1,364235	0,299309	H ₀
Salinidade (‰)	2,136018	0,143756	H ₀	8,99167	0,005828	H ₁
Coli. Term. (NMP/100mL)	0,700903	0,6354	H ₀	26,74334	9,7E-05	H ₁
<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	0,700803	0,635464	H ₀	26,74005	9,7E-05	H ₁
DBO _{5,20} (mg O ₂ L ⁻¹)	3,688	0,037547	H ₁	3,64	0,064905	H ₀
OD (mg L ⁻¹)	0,89916	0,517623	H ₀	1,988152	0,187516	H ₀
Temperatura (°C)	1,6666	0,229837	H ₀	15,463	0,000871	H ₁
Nitrato (mg de N L ⁻¹)	1,129351	0,405097	H ₀	159,3887	2,6E-08	H ₁
Fósf. T. (mg de P L ⁻¹)	0,683578	0,646534	H ₀	13,19514	0,001567	H ₁

Onde: H₀: Não existe diferença significativa entre os valores; H₁: Existe diferença significativa entre os valores; pH: potencial hidrogeniônico; CE: condutividade elétrica; STD: sólidos totais dissolvidos; DBO_{5,20}: Demanda Bioquímica de Oxigênio; OD: Oxigênio Dissolvido; Coli.Term.: Coliformes Termotolerantes; *E. coli*: *Escherichia coli*; NMP: número mais provável; Fósf. T.: Fósforo Total.

Barreto *et al.* (2014), analisaram a relação entre vazão e qualidade de água de uma seção de rio, onde se observou que a salinidade, os sólidos totais dissolvidos e a turbidez apresentaram comportamentos semelhantes, verificando um aumento linear com o incremento da vazão, entretanto o parâmetro pH apresentou comportamento contrário. Os valores encontrados para fósforo aumentaram com a vazão, podendo estar associado ao revolvimento do sedimento no leito do rio, provocando o deslocamento do fósforo total decantado.

A demanda bioquímica de oxigênio apresentou variação significativa entre os pontos, porém não variou entre as saídas. Os maiores valores da demanda bioquímica de oxigênio foram

encontrados nos pontos P5 e P6, que se localizam, respectivamente, na entrada da sede do primeiro distrito e próximo ao ponto de captação da estação de tratamento de água do município de São João da Barra. Esses pontos ficam a jusante a estação de tratamento de efluentes, e muito próximo a uma fábrica de bebidas, podendo indicar o despejo de efluentes sem tratamento adequado no corpo hídrico. Os valores de temperatura não variaram em relação aos pontos, porém, apresentaram variação significativa entre as saídas. Alvarenga *et al.* (2012), constataram em seu estudo que a temperatura, quando comparada a pH, CE e OD, é o parâmetro que mais sofre influência da vazão, relacionando o aumento de temperatura ao aumento do escoamento superficial que ocorre no período chuvoso. Observou-se também que a vazão pode provocar leve tendência de diminuição dos parâmetros pH e OD.

O parâmetro turbidez apresentou uma variação significativa entre as saídas mas não entre os pontos. Ottoni, Sampaio e Vasconcelos (2017), em seu estudo sobre a gestão ambiental da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, constataram que a bacia encontra-se degradada em quase toda sua extensão, onde o aumento do escoamento superficial é acentuado por muitas áreas desmatadas. Tal situação pode ser relacionada ao aumento de turbidez nas épocas chuvosas, coincidindo com períodos de maior vazão.

3.2 Índice de Qualidade de Água (IQA)

De acordo com Ewaid e Abed (2017), o IQA indica o efeito total de fatores ecológicos na qualidade das águas superficiais, podendo fornecer uma interpretação facilitada dos dados de monitoramento para auxiliar os gestores locais a melhorar a gestão dos corpos hídricos. Foi possível observar que o IQA-NSF pode sofrer alteração quando em vazões diferenciadas, visto a diferença no índice dos pontos na última saída, com uma vazão de 761 m³/s, em que quase todos os pontos apresentaram níveis de qualidade Médio, exceto o ponto P1 e P2, apresentando o nível de qualidade Bom, conforme mostra Tabela 7.

Tabela 7. Resultados e interpretação do Índice de Qualidade de Água.

Ponto	Saídas					
	S1		S2		S3	
	IQA	NQ	IQA	NQ	IQA	NQ
P1	74,4	Bom	77,8	Bom	71,4	Bom
P2	75,4	Bom	84,2	Bom	70,0	Bom
P3	75,1	Bom	80,9	Bom	69,7	Médio

P4	77,6	Bom	82,7	Bom	66,9	Médio
P5	70,9	Bom	68,9	Médio	67,2	Médio
P6	62,1	Médio	74,9	Bom	68,7	Médio

Onde: IQA= Índice de Qualidade de Água, NQ= Nível de Qualidade.

A partir dos dados levantados nas coletas realizadas nos 6 pontos, em três períodos, foi possível a análise dos 9 parâmetros necessários para a realização do cálculo do IQA. As amostras coletadas, em média, apresentaram boas concentrações de oxigênio dissolvido. Os coliformes termotolerantes mostraram valores dentro do preconizado na legislação para demais usos, porém, em alguns pontos desconformes com a legislação para dessedentação animal. Considerando que os parâmetros citados acima são os que possuem mais peso no cálculo do índice, pode-se estimar que os resultados têm relação direta com os valores obtidos para esses parâmetros.

Interpretando tais resultados de acordo com o que preconiza a Companhia Ambiental do estado de São Paulo (CETESB), observou-se que a qualidade da água em quase todos os pontos na saída 3 foram de qualidade média, exceto o ponto P1 e P2. Vale lembrar a ocorrência da maior vazão (761 m³/s) entre as saídas. Estima-se que pode ter ocorrido um incremento de escoamento superficial, e, com isso, um aumento da depreciação do recurso hídrico por descargas de efluentes em diversos pontos. Foi possível constatar que os valores altos de coliformes termotolerantes encontrados em todos os pontos pode ter, também, contribuído para esse resultado. No estudo de Amorim *et al.* (2017), foi analisado o IQA nos igarapés Rabo de Porco e Precuá (MA), onde se constatou que os igarapés sofreram impactos antrópicos que afetaram sua qualidade em razão de esgotos domésticos e partículas geradas pela atividade de terraplenagem para implantação de uma refinaria. O IQA apresentou valores médios que caracterizaram a qualidade dos corpos d'água estudados, na maior parte da malha amostral, como “regular”.

Os valores de IQA nas saídas 1 e 2 indicam uma melhor qualidade de água quando comparados à última saída. Na saída 1, o ponto P6 apresentou um nível de qualidade Médio que pode estar relacionado a demanda bioquímica de oxigênio, apresentando o valor mais elevado da saída (8 mg O₂ L⁻¹). O ponto P6 se localiza próximo ao ponto de captação da Estação de Tratamento de Água de São João da Barra e muito próximo a uma fábrica de bebidas as margens do rio. O resultado para DBO_{5,20} nesse ponto pode indicar o incremento de matéria orgânica em alguma área próxima ao ponto de coleta. Carvalho *et al.* (2016), constataram, em seu estudo, que os valores de IQA foram mais elevados, indicando melhor qualidade, na zona

rural, quando comparado aos valores encontrados na área urbana, podendo ser relacionado não só a efluentes domésticos e atividades agrícolas, mas também ao uso e ocupação do solo. Diante disso, afirmaram que a área onde predomina as atividades urbanas pode ser responsável por baixos níveis de qualidade de água, independentes da estação (seca e chuvosa). Já para Passos *et al.* (2019), atividades agrícolas presentes próximas a cursos de água podem ser uma significativa fonte de mudanças na qualidade da água.

Na segunda saída, o ponto P5 foi o único a apresentar nível de qualidade Médio, o que pode estar relacionado ao parâmetro oxigênio dissolvido, onde se constatou o menor valor para todas as saídas ($3,34 \text{ mg L}^{-1}$) estando desconforme com a legislação de referência. Os valores encontrados de coliformes termotolerantes, na saída 2, foram os mais baixos quando comparados as outras saídas, exceto no ponto P6 ($908,7 \text{ NMP}/100 \text{ mL}$), porém o valor de oxigênio dissolvido, para o mesmo ponto, foi o maior encontrado para essa saída ($9,67 \text{ mg L}^{-1}$). Fia *et al.* (2015), encontraram valores de IQA que variaram entre 64 a 31 no verão e 67 e 33 no inverno. A maioria dos seus pontos de coleta apresentaram níveis de qualidade ruim, sem diferença significativa entre eles, porém observou-se um decréscimo de qualidade em direção a foz do Ribeirão Vermelho.

Em seu estudo, De Andrade *et al.* (2020), foi possível constatar por meio do cálculo do Índice de Qualidade de Água no rio Piabanha, uma sub-bacia estratégica do rio Paraíba do Sul, que os melhores índices de qualidade de água são encontrados nas estações secas quando comparados as estações chuvosas. Este comportamento pode ser corroborado neste trabalho visto que os piores resultados de IQA foram encontrados na saída de maior vazão (Saída 3), podendo estar diretamente associado a entrada de sedimentos e poluentes carregados pela chuva.

3.3 Índice de Estado Trófico (IET)

Um dos principais problemas que podem afetar a qualidade dos corpos hídricos é a eutrofização, que ocorre pelo enriquecimento das águas com nutrientes. Em ecossistemas aquáticos, pode ocorrer naturalmente um aumento do grau de trofia. No entanto, as várias atividades humanas podem contribuir significativamente com o acréscimo de nitrogênio e fósforo, principais componentes que levam a processos de eutrofização (CHEN; CHEN; DONG; 2016). O IET utilizado para indicar o grau de trofia neste estudo foi o proposto por Lamparelli (2004) e os resultados podem ser observados na Tabela 8.

Tabela 8. Resultados e interpretação do Índice de Estado Trófico.

Ponto	Saídas					
	S1		S2		S3	
	IET	GT	IET	GT	IET	GT
P1	60,12	Eutrófico	52,91	Mesotrófico	57,11	Mesotrófico
P2	57,40	Mesotrófico	50,46	Oligotrófico	55,07	Mesotrófico
P3	59,10	Eutrófico	52,62	Mesotrófico	56,18	Mesotrófico
P4	56,67	Mesotrófico	55,65	Mesotrófico	56,82	Mesotrófico
P5	57,80	Mesotrófico	54,66	Mesotrófico	54,66	Mesotrófico
P6	59,27	Eutrófico	55,46	Mesotrófico	52,31	Oligotrófico

Onde: IET= Índice de Estado Trófico, GT= Grau de Trofia.

A partir da determinação do IET, observa-se que as concentrações de fósforo total indicam uma condição de mesotropia em quase todos os pontos das saídas 2 e 3, exceto no ponto P2 na segunda saída e P6 na última saída que apresentaram grau de trofia oligotrófico. Segundo Lamparelli (2004), ambientes mesotróficos indicam uma produtividade intermediária, podendo apresentar possíveis consequências sobre a qualidade da água, porém a níveis aceitáveis. Valores diferentes foram encontrados por Alves *et al.* (2017), em que a água do Ribeirão das Abóboras foi classificada como Eutrófico entre junho e dezembro e Supereutrófico no mês de janeiro, sendo que os maiores valores coincidiram com o período chuvoso. De acordo com Silva (2018), a água da chuva pode influenciar tanto na diluição quanto no aumento da concentração de poluentes nos corpos hídricos, dependendo das características da bacia hidrográfica e de seu estado de preservação e ocupação.

Na primeira saída a metade dos pontos (P1, P3 e P6) apresentou grau de trofia eutrófico, com os outros pontos apresentando grau de trofia mesotrófico. De acordo com Pantano *et al.* (2016), o incremento de nutrientes em corpos hídricos de maneira não controlada, seja por atividades agrícolas ou despejos de efluentes domésticos pode classificar o corpo hídrico como eutrófico ou mesotrófico. Segundo Alemayehu e Hackett (2016), atividades antrópicas como agricultura, deposição de efluentes domésticos e industriais podem ser fatores importantes na potencialização da eutrofização nos corpos hídricos. No estudo De Abreu e Cunha (2018), foi utilizado o IET em conjunto com análises físico-químicas e microbiológicas na verificação da variabilidade espaço-temporal de 20 parâmetros de qualidade de água no Baixo Rio Jari-Amapá. Foi constatado que a variação temporal foi significativa, indicando forte influência do ciclo hidrológico quando comparado aos impactos ambientais urbanos.

Setta (2015), aplicou o índice de Estado Trófico para fósforo (IET) na bacia do rio Paraíba do Sul, e observou-se que as estações de Campos dos Goytacazes, Vale do Pomba e Anta apresentaram os melhores graus de trofia (35; 40 e 40) respectivamente. Entretanto as estações de coleta no trecho médio do rio Paraíba do Sul, como Volta Redonda, apresentaram os piores graus de trofia, coincidentemente com a entrada dos grandes centros urbanos, e indústrias, responsáveis pelo incremento de efluentes industriais e domésticos. Foi observado estado hipereutrófico tanto no período de estiagem quanto no chuvoso, na estação de Matias Barbosa (MG). Nesse estudo foi possível observar concentrações altas de fósforo total tanto no período chuvoso quanto seco. Em contrapartida, Jarvie *et al.* (2005), menciona que períodos chuvosos podem ser responsáveis por um aumento de escoamento superficial, que acarreta o arraste de nutrientes como fósforo para os corpos hídricos.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A manutenção da qualidade da água de um corpo hídrico depende de uma gestão participativa e eficiente, sendo necessário um monitoramento constante dos corpos hídricos e a manutenção de uma efetiva política de uso e ocupação do solo, tanto a nível de bacia hidrográfica quanto a nível local. É preciso que o poder público e a coletividade possuam dados de monitoramento da qualidade da água atualizados e em conformidade com o que a legislação específica estabelece, para que se permita uma boa gestão de recursos hídricos com vistas ao respeito às especificidades locais.

Mediante a avaliação dos parâmetros coletados em campo, foi possível observar o atendimento dos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/05, em grande parte dos pontos analisados. Entretanto, essa legislação não considera todos os parâmetros, deixando de fora muitos considerados fundamentais para avaliação da qualidade da água. Ao longo do tempo, o crescimento populacional e aumento da demanda por água e alimento vem impactando cada vez mais os ecossistemas. Portanto, novos parâmetros precisam ser incrementados para inferir com mais propriedade a qualidade da água, visto que o monitoramento de recursos hídricos se configura como uma importante ferramenta para as políticas de gestão da bacia.

O cálculo do Índice de Qualidade de Água (IQA) evidenciou que o trecho em questão apresentou, em sua maioria, boa qualidade de água, sendo as saídas 1 e 2 as de melhores resultados, com apenas um ponto de qualidade média em cada saída. A última saída apresentou os piores resultados, com apenas dois pontos considerados de boa qualidade. Entretanto, vale destacar que os valores altos encontrados de coliformes termotolerantes, *E. coli* e coliformes

totais podem indicar contaminação por efluentes domésticos, ocasionando uma depreciação da qualidade ecossistêmica, assim como causar problemas de saúde caso o tratamento de água não seja realizado de maneira eficiente.

Constatou-se que a variação dos parâmetros oxigênio dissolvido e coliformes termotolerantes são significativos para o cálculo do IQA. O teste estatístico ANOVA indicou que as variações mais significativas ocorreram entre as três saídas, sendo um indicativo de que a vazão pode estar diretamente ligada às variações apresentadas nos resultados. O aumento da vazão ocasionou piora significativa nos parâmetros turbidez, sólidos totais, coliformes termotolerantes e *E. coli*.

O cálculo do Índice de Estado Trófico (IET), indicou uma qualidade da água regular, em relação a quantidade de fósforo total, mostrando na primeira saída pontos com grau de trofia Eutrófico (P1, P3 e P6). Os demais pontos apresentaram graus de trofia variando de Mesotrófico a Oligotrófico, em que se identifica menores valores de nutrientes e conseqüentemente pouca interferência na qualidade da água do corpo hídrico nos pontos analisados.

Dessa forma, é necessário um estudo aprofundado sobre os impactos que podem ser relacionados às alterações de vazão na qualidade do trecho estudado. Vale ressaltar a importância de fatores relevantes para a manutenção da qualidade de água dos corpos hídricos tais como a presença de mata ciliar, manutenção e recuperação de áreas de preservação permanente, realização de saneamento básico eficiente, com vista a garantir o tratamento de efluentes domésticos e industriais antes de sua disposição final, e também o aprimoramento de um sistema de monitoramento local constante, objetivando a obtenção de dados necessários a tomada de decisão para gestão dos recursos hídricos visando seus múltiplos usos.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEMAYEHU, D.; HACKETT, F.. Water Quality and Trophic State of Kaw Lake. *Journal of Environmental Studies*, Oklahoma, v.2, n.1, p.1-7, 2016.

ALVARENGA, Lívia Alves et al. Estudo da qualidade e quantidade da água em microbacia, afluente do rio Paraíba do Sul-São Paulo, após ações de preservação ambiental. *Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, v. 7, n. 3, p. 228-240, 2012.

ALVES et al., Wellmo dos Santos. Avaliação da Qualidade da água e Estado Trófico do Ribeirão das Abóboras, em Rio Verde-GO, Brasil. **Geociências (São Paulo)**, v. 36, n. 1, p. 13-29, 2017.

AMORIM, Diranneide Gomes et al. Enquadramento e avaliação do índice de qualidade da água dos igarapés Rabo de Porco e Precuá, localizados na área da Refinaria Premium I, município de Bacabeira (MA). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 2, p. 251-259, 2017.

ANA. Agência Nacional de Águas (Brasil). Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017 : relatório pleno / Agência Nacional de Águas. - Brasília: ANA, 2017. Acessado em 03 de julho de 2020.

ANA. Agência Nacional de Águas (Brasil). Indicadores de Qualidade - Índice de Qualidade das Águas (IQA). - Brasília : ANA, SPR, 2020. Disponível em: <http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx> Acessado em 06 de Maio de 2020.

ANA. Agência Nacional do Águas (Brasil). ODS 6 no Brasil: visão da ANA sobre os indicadores / Agência Nacional de Águas. – Brasília: ANA, 2019. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/ acesso-a-informacao/institucional/publicacoes/ods6/ods6.pdf>. Acessado em 10 de Outubro de 2020.

ANA. Indicadores de Qualidade - Índice do Estado Trófico (IET) 2018. Brasília/DF, Brasil. Agência Nacional das Águas, 2018. Disponível em: <http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-estado-trofico.aspx> . Acessado em 07 de julho de 2020.

ANDRIETTI, G., Freire, R., Garcia do Amaral, A., Terra de Almeida, F., Carvalho Bongiovani, M., & Schneider, R. M. (2016). *Water quality index and eutrophication indices of Caiabi River, MT. Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science, 11.*

ANTONELLI, V.; THOMAZ, E. L. Caracterização do meio físico da bacia do arroio Boa Vista – Guamiranga, PR. *Caminhos de Geografia*, v. 8, p. 46-58, 2007.

APHA, AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. *Standard methods for the examination of water and wastewater. 23st Edition*. New York: APHA, WWA, WPCR,2017.

ASSOCIAÇÃO PRÓ-GESTÃO DAS ÁGUAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL (AGEVAP). Plano integrado de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul e planos de ação de recursos hídricos das bacias afluentes: Relatório de diagnóstico contextualizado dos Recursos Hídricos na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul – RP06; Disponível em <http://www.ceivap.org.br/arqforum / Cohidro/Ativ-01604-rev1-dez13.pdf>, Resende, Rio de Janeiro, 2013.

BARRETO, Luciano Vieira et al. Relação entre vazão e qualidade da água em uma seção de rio. *Revista Ambiente & Água*, v. 9, n. 1, p. 118-129, 2014.

BAGATIN, R.; Kleme, S. J.; Reverberi, A. P.; Huisingh, D. *Conservation and improvements in water resource management: a global challenge*. *Journal of Cleaner Production*, v. 77, p. 1-9, 2014.

BRASIL. Lei nº 9.433 de 8 de Janeiro de1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Brasília/DF, Brasil. Ministério do Meio Ambiente, 1997.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. CONAMA. Resolução Nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: Acesso em: 16 de Abril de 2020.

BROVINI, Emília Marques et al. Avaliação temporal da quantidade e da qualidade físico-química e biológica das águas do ribeirão Espírito Santo. **Principia: Caminhos da Iniciação Científica**, v. 19, n. 2, p. 11-11, 2019.

BROWN, P.M.; MCCLELLAND, N.I.; DENINGER, R.A.; TOZER, R.G. *A water quality index do we dare?* *Water & Sewage Word*, 1970. pp. 339-343.

CARLSON, R. E.. *A trophic state index for lakes*. *Limnology and Oceanography*, Minneapolis, v.22, n.2, p.361-369, 1977.

CARVALHO, Aurean de Paula et al. Avaliação da poluição em rios utilizando índices de qualidade da água: um estudo de caso no Ribeirão São João em Porto Nacional–TO. *Geociências (São Paulo)*, v. 35, n. 3, p. 472-484, 2016.

CEIVAP. Comitê de Integração da Bacia do Rio Paraíba do Sul. Relatório de Situação Rio Paraíba do Sul. 2018. Disponível em: <http://www.ceivap.org.br/conteudo/relsituacao2018.pdf>. Acessado em 19 de dezembro de 2020.

EIVAP. Comitê de Integração da Bacia do Rio Paraíba do Sul. Dados Geoambientais. 2020. Disponível em: <http://www.ceivap.org.br/geoambientais.php>. Acessado em 18 de setembro de 2020.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. 2016. Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas e dos Sedimentos e Metodologias Analíticas e de Amostragem. Apêndice E, Série Relatórios. Governo de São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo, 2016. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2017/11/Apendice-E-Significado-Ambiental-e-Sanitario-das-Variaveis-de-Qualidade-2016.pdf>.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Apêndice D – Índices de Qualidade das Águas. 2017. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2017/11/Ap.A - Andice-D-Índices-de-Qualidade-das-águas.pdf>>. Acesso em: 05 de janeiro de 2020.

CHEN, C.; JU, Y.; CHEN, C.; DONG, C. (2016) *Evaluation of organic pollution and eutrophication status of Kaohsiung Harbor, Taiwan. International Biodeterioration and Biodegradation*, v. 13, p. 318-324. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.03.024>

DE ABREU, Carlos Henrique Medeiros; CUNHA, Alan Cavalcanti. Qualidade da água e índice trófico em rio de ecossistema tropical sob impacto ambiental. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 22, n. 1, p. 45-56, 2018.

De Andrade Costa, D., Soares de Azevedo, JP, dos Santos, MA et al. Avaliação da qualidade da água com base em estatísticas multivariadas e índice de qualidade da água de um rio estratégico na Mata Atlântica brasileira. *Sci Rep* 10, 22038 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78563-0>

DERISIO, José Carlos. Introdução ao controle de poluição ambiental. 4. Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

EWAID, Salam Hussein; ABED, Salwan Ali. *Water quality index for Al-Gharraf river, southern Iraq*. The Egyptian Journal of Aquatic Research, v. 43, n. 2, p. 117-122, 2017.

FACIOLI, Mariana da Costa; BEZERRA, Gustavo. Bacia do Rio Paraíba do Sul: Conflitos no Processo Pré-enquadramento de Rios Federais em Classes de Uso. In: XXI Simpósio Brasileiro De Recursos Hídricos, 11., 2015, Brasília. *Anais*. Brasília: Abrh, 2015. p. 3 - 8.

FAIAD, Fabrícia Moreira Gonçalves; SOARES, Ana Luiza Cunha; OLIVEIRA, Sílvia Corrêa. Identificação dos Parâmetros Mais Relevantes para da Qualidade das Águas da Bacia do Rio Paraíba do Sul. (2018). III Simpósio de Recursos Hídricos do Rio Paraíba do Sul. Juiz de Fora.

FERREIRA, Arlon Cândido; ROCHA, Leonardo Cristian; DO AMARAL FIGUEIREDO, Múcio. Análise do índice de qualidade de água na bacia do Córrego do Rio acima, São João Del-Rei/MG. *Revista nacional de Gerenciamento de Cidades*, v. 3, n. 15, 2015.

FIA, Ronaldo et al. Qualidade da água de um ecossistema lótico urbano. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n. 2, p. 267-275, 2015.

FLUMINENSE, N. T. (2016). Usos na Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: Considerações acerca da Escassez de Água, Inundações e Área de Preservação Permanente. *Revista de Geografia (Recife)*, 33(3).

FUNASA - Fundação Nacional de Saúde. Manual Prático de Análise de Água. 4ª edição. Brasília, 2013. Disponível em: http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/manual_pratico_de_analise_de_agua_2.pdf Acessado 06 de maio de 2019.

GARCIA, A.C. Avaliação da qualidade da água do rio Paraíba do Sul na Cidade de Lorena - SP Brasil. In: 13º Congresso Nacional de Iniciação Científica, São Paulo. Anais ConicSemesp, 2013.

GUNNARSDOTTIR, Maria J. *et al.* *Benefits of water safety plans: microbiology, compliance, and public health.* *Environmental science & technology*, v. 46, n. 14, p. 7782-7789, 2012.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/saojoaodabarra/panorama>>. Acesso em: 19 de setembro de 2020.

INEA. Instituto Estadual do Ambiente. Índice de Qualidade de Água. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2019/04/IQA-NSF-Metodologia-Qualidade-de-%C3%81gua.pdf> Acessado em 13 de maio de 2020.

JARVIE, H. P.; NEAL, C.; WITHERS, P. J. A.. *Sewage effluent phosphorus: a greater risk to river eutrophication than agricultural phosphorus?*. *Science of the Total Environment*, v.360, p.246-253, 2005. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.08.038>

LACH, Carlos Eduardo et al. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO HERCÍLIO, MUNICÍPIO DE IBIRAMA, SC. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 14, n. 1, p. 07-16, 2020.

LAMPARELLI, M. C. Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento. 2004. São Paulo. Tese. 235 p. (Doutorado) - Universidade de São Paulo, 2004.

LEITÃO, Valéria De Sousa et al. Utilização do índice de qualidade de água (IQA) para monitoramento da qualidade de água em uma área de preservação ambiental. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v. 19, n. 3, p. 794-803, 2015.

LOPES, L.G.; AMARAL, L.A.; HOJAIJ, A. Seleção de indicadores para gestão da bacia hidrográfica do Córrego Rico, Jaboticabal - SP. In: ASSEMBLÉIA NACIONAL DE SERVIÇOS MUNICIPAIS DE SANEAMENTO, 1., 2005, Jaboticabal. 4 p.

LUNELLI, Karina et al. Qualidade da água do Rio dos Índios sob influência de atividades agroindustriais e de urbanização. **Revista Virtual de Química**, v. 11, n. 4, 2019.

MARENGO, José A. *et al.* A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo. *Revista USP*, n. 106, p. 31-44, 2015.

MASSOUD, May Afif. *Assessment of water quality along a recreational section of the Damour River in Lebanon using the water quality index.* *Environmental monitoring and assessment*, v. 184, n. 7, p. 4151-4160, 2012.

MCCLELLAND, Nina I. *Water quality index application in the Kansas River Basin.* US Environmental Protection Agency-Region VII, 1974.

MEDEIROS, Samylle Ruana Marinho de *et al.* Índice de qualidade das águas e balneabilidade no Riacho da Bica, Portalegre, RN, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v. 11, n. 3, p. 711-730, 2016.

NOORI, Roohollah *et al.* A critical review on the application of the National Sanitation Foundation Water Quality Index. **Environmental Pollution**, v. 244, p. 575-587, 2019.

OLIVEIRA, Dhisney Gonçalves de *et al.* Land use and its impacts on the water quality of the Cachoeirinha Invernada Watershed, Guarulhos (SP). **Revista Ambiente & Água**, v. 13, n. 1, 2018.

OTTONI, Adacto Benedicto; DA CUNHA SAMPAIO, Felipe Pereira; DE ALMEIDA VASCONCELOS, Nathalia. Projeto preliminar de gestão ambiental da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul. *Revista Científica ANAP Brasil*, v. 10, n. 19, 2017.

PANTANO, G.; GROSSELI, G.M.; MOZETO, A.A.; FADINI, P.S. Sustentabilidade no uso do fósforo: uma questão de segurança hídrica e alimentar. *Química Nova*, v.39, n.6, p.732- 740, São Carlos – SP, Brasil 2016. <http://dx.doi.org/10.5935/0100-4042.2016008>.

PASSOS, Ana Luiza Litz *et al.* Seleção de variáveis na definição de um índice de qualidade de água para o Distrito Federal. *Revista Ambiente & Água*, v. 14, n. 4, 2019.

PESSOA, Marco Antonio Ribeiro *et al.* Índice fuzzy de qualidade de água para ambiente lótico-IQAFAL. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 25, n. 1, p. 21-30, 2020.

PIAZI, Julia; SILVEIRA, Juliana Souza; LOPES, Frederico Azevedo. Análise das Condições de Balneabilidade da Porção Mineira da Bacia do Rio Paraíba do Sul. III Simpósio de Recursos Hídricos do Rio Paraíba do Sul. Juiz de Fora. (2018)

PINHEIRO, Danilo Costa; SALDANHA, Edinelson Correa; DO NASCIMENTO, Monte Christiane. Índice de estado trófico e a proveniência do fósforo e clorofila-a em diferentes estações do ano em uma microbacia Amazônica. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 10, n. 5, p. 89-100, 2019.

RIBANI, Marcelo *et al.* Validação em métodos cromatográficos e eletroforéticos. *Química nova*, v. 27, n. 5, p. 771-780, 2004.

RICHTER, C. A.; NETTO, J. M. A. Tratamento de água: tecnologia atualizada. São Paulo: Edgar Blücher, 2005.

ROCHA, César Henrique Barra; SILVA, Thiago Martins da; FREITAS, Fabiano Amarante. Processos condicionantes de alterações em variáveis limnológicas: uma abordagem estatística na Represa de São Pedro, Juiz de Fora (MG). **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 21, n. 1, p. 131-138, 2016.

SANTOS, Rosa Cecília Lima *et al.* Aplicação de índices para avaliação da qualidade da água da Bacia Costeira do Sapucaia em Sergipe. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n. 1, p. 33-46, 2018.

ŞENER, Şehnaz; ŞENER, Erhan; DAVRAZ, Ayşen. *Evaluation of water quality using water quality index (WQI) method and GIS in Aksu River (SW-Turkey)*. *Science of the Total Environment*, v. 584, p. 131-144, 2017.

SETTA, Bruno Rocha Silva. IV-303–APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO PARA FÓSFORO (IETPT) NA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL. 28º Congresso Brasileiro de engenharia Sanitária e Ambiental. ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro. 2015.

SILVA, Daniel Clemente Vieira Rêgo da *et al.* Avaliação da eficiência de um índice de estado trófico na determinação da qualidade da água de reservatórios para abastecimento público. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 23, n. 4, p. 627-635, 2018.

SILVA, T. T. et al. Monitoramento da qualidade da água da foz do rio Santa Maria da Vitória e da baía de Vitória–ES, por meio de estudos sistemáticos de parâmetros físico-químicos e biológicos. **Rev. Virtual Quim**, v. 10, n. 5, 2018.

SOUZA, J.R.; MORAES, M.E.B.; SONODA, S.L.; SANTOS, H.C.R.G. A Importância da Qualidade da Água e os seus Múltiplos Usos: Caso Rio Almada, Sul da Bahia, Brasil. *Revista Eletrônica do Prodepa*, v.8, n.1, p. 26- 45, abr. 2014

TCE. Tribunal de Contas do Estado. Estudos Socioeconômicos dos Municípios do Estado do Rio de Janeiro-Campos dos Goytacazes.2018. Acessado em 20 de outubro de 2020. Disponível em: <https://www.tce.rj.gov.br/estudos-socioeconomicos1>

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Indicador de sustentabilidade hídrica urbana. **Revista Gestão de Água da América Latina**, v. 14, p. 1-12, 2017.

TUNDISI, José Galizia. Água no século XXI: Enfrentando a escassez. Editora Rima, São Carlos, p. 1-15, out. 2003.

TUNDISI, José Galizia. Novas perspectivas para a gestão de recursos hídricos. *Revista USP*, São Paulo, n. 70, p. 24-35, jun./ago. 2006.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 2. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 1996.

VON SPERLING, M. Princípios do tratamento biológico das águas residuárias. 3. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005.

WHO. WORLD HEALTH ORGANIZATION *et al.* *Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2017: special focus on inequalities*. World Health Organization, 2019. Acessado em 2 de maio de 2020.

XAVIER, Fernanda Vieira *et al.* Análise dos indicadores de qualidade de água em Rio Antropizado: estudo de caso. *Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento*, v. 1, p. 454-466, 2017.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DO RELATÓRIO

Agência Nacional de Águas. (ANA). (2018). Indicadores de Qualidade - Índice do Estado Trófico (IET) 2018. Brasília/DF, Brasil. Acessado em 10 de julho de 2019, em <http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-estadotrofico.aspx>

Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul . (AGEVAP).(2017) Relatório de Gestão 2017 – Comitê de Bacia Hidrográfica Baixo Paraíba do Sul e Itabapoana. Recuperado em 18 de julho de 2019, em <http://cbhbaixoparaiba.org.br/downloads/relatorio-de-gestao-2017.pdf>

BROWN, R.M., McClelland, N.J., Denninger, R.S. and O'Connor, M.F. A water quality index-crashing the Psychological barrier. *Int. Conf. on Water Poll. Res. Jerusalem*, Israel. Edited by: Jenkins, S.H. Vol. 6, pp.787.

HORTON, R.K. 1965. An index number system for rating water quality. *J. Water Poll.Cont. Fed.*, 3

