

**JOÃO VITOR PELLICORO LINS BAIA**

**Análise temporal da qualidade da água da bacia hidrográfica do ribeirão  
Guaratinguetá (SP)**

Guaratinguetá  
2023

**João Vitor Pellicoro Lins Baia**

**Análise temporal da qualidade da água da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá  
(SP)**

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia de Materiais da Faculdade de Engenharia e Ciências do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia de Materiais.

Orientadora: Prof<sup>fa</sup> Dr<sup>a</sup> Isabel Cristina de Barros Trannin

Guaratinguetá

B152a	<p>Baia, João Vitor Pellicoro Lins          Análise temporal da qualidade da água da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá (SP) / João Vitor Pellicoro Lins Baia - Guaratinguetá, 2023.          65 f : il.          Bibliografia: f. 63-65</p>
	<p>Trabalho de Graduação em Engenharia de Materiais – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá, 2023.          Orientadora: Pro<sup>fa</sup>. Dr<sup>a</sup>. Isabel Cristina de Barros Trannin</p>
	<p>1. Água - Qualidade. 2. Solos - Análise. 3. Bacia hidrográficas. I. Título.</p>
	<p>CDU 628.1</p>


**JOÃO VITOR PELLICORO LINS BAIA**


ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO PARTE  
DO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE  
“GRADUADO ENGENHARIA DE MATERIAIS”

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE  
GRADUAÇÃO EM NOME DO CURSO

  
Prof. Dr. José Vitor Candido de Souza  
Coordenador

**BANCA EXAMINADORA:**

  
Prof.ª Dr.ª Isabel Cristina de Barros Trannin  
Orientadora/UNESP-FEG

  
Prof.ª Dr.ª Lisiane Pereira Prado  
UNESP-FEG

  
Prof. Dr. Teófilo Miguel de Souza  
UNESP-FEG

Janeiro de 2023

*Ao meu pai e avô, que não estão mais comigo  
para presenciarem essa conquista.*

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer a minha mãe, que me proporcionou apoio, carinho e educação de qualidade.

Agradeço também à Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Isabel Cristina de Barros Trannin, sem sua atenção, paciência e orientação, esse trabalho não teria a qualidade que tem. Devo agradecer também à Fabiana de Godoy Spinelli, gerente de tratamento e distribuição da Companhia de Serviço de Água, Esgoto e Resíduos de Guaratinguetá (SAEG), e à Secretária de Turismo e Lazer de Guaratinguetá por fornecer informações importantes para a realização desse estudo.

Por fim, agradeço a todos os docentes e funcionários da FEG-UNESP que foram parte fundamental de minha formação acadêmica e pessoal, assim como meus companheiros e companheiras de universidade, muitos deles se tornaram pessoas que levarei para a vida inteira.

*“Quando a educação não é libertadora, o sonho do oprimido é ser o opressor.”*

Paulo Freire

## RESUMO

O objetivo desse trabalho foi diagnosticar a qualidade da água da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá durante os dez anos de implementação do Programa Produtor de Água, por meio da análise de parâmetros que compõem o Índice de Qualidade da Água (IQA) extraídos do portal Infoaguas, disponibilizado pela CETESB, e de dados da ocorrência de cianobactérias, fornecidos pela Companhia de Serviço de Água, Esgoto e Resíduos de Guaratinguetá (SAEG). A compilação e a análise destas informações indicaram que apesar do IQA ser um bom índice de qualidade da água, não inclui em seu cálculo poluentes importantes como metais pesados, resíduos de defensivos agrícolas, entre outros, como cianobactérias, e deve ser utilizado com análises complementares. Na bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá foi verificado a ocorrência de *Escherichia coli* em quantidade muito superior ao padrão da Resolução Conama nº 357/2005 para rios de classe 2, o que é preocupante dado que a bacia é responsável por 95% do abastecimento da cidade de Guaratinguetá e a região apresenta um forte fluxo de turistas que tem contato direto com essa água, tanto para banho, quanto para o consumo. Além disso, foi observado no início de 2022 um crescimento na densidade de cianobactérias. Estes resultados indicam a ocorrência de lançamento de esgoto sem tratamento nas águas da bacia, mostrando a necessidade de ações das políticas públicas, para viabilizar o tratamento de esgoto não somente dos produtores rurais, contemplados pelo Programa Produtor de Água, mas por toda a comunidade da bacia do ribeirão Guaratinguetá.

**PALAVRAS-CHAVE:** Índice de Qualidade de Água (IQA); Programa Produtor de Água; Uso e ocupação do solo; Balneabilidade.



## ABSTRACT

The objective of this work was to diagnose the water quality of the watershed of the river Guaratinguetá during the ten years of implementation of the Water Producer Program, through the analysis of parameters that make up the Water Quality Index (WQI) extracted from the Infoaguas portal, made available by CETESB, and data on the occurrence of cyanobacteria, provided by the Company of Water, Sewage and Waste Services of Guaratinguetá (SAEG). The compilation and analysis of this information indicated that although the WQI is a good water quality index, it does not include in its calculation important pollutants such as heavy metals, pesticide residues, among others, such as cyanobacteria, and should be used with complementary analyses. In the watershed of the river Guaratinguetá it was verified the occurrence of *Escherichia coli* in an quantity much higher than the standard of Conama Resolution No. 357/2005 for class 2 rivers, which is worrisome because the basin is responsible for 95% of the supply of the city of Guaratinguetá and the region has a strong flow of tourists who have direct contact with this water, both for bathing and for consumption. In addition, an increase in the density of cyanobacteria was observed in early 2022. These results indicate the occurrence of untreated sewage disposal in the waters of the basin, showing the need for public policy actions, to enable the treatment of sewage not only from farmers, covered by the Water Producer Program, but for the entire community of the river Guaratinguetá basin.

**KEYWORDS:** Freshwater Quality Index (WQI); Soil use and occupation; Water Producer Program; Water quality for bathing.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Volume de chuva anual no território brasileiro por Unidade de Gestão dos Recursos Hidrográficos em mm (2021). .....	21
Figura 2 - Vazão média de água no território brasileiro por Unidade de Gestão dos Recursos Hidrográficos em m <sup>3</sup> /s (2021). .....	22
Figura 3 - Diferença nas vazões nos pontos de monitoramento considerando dados de 2010 até 2020 em relação à média entre 1980-2010 em %. .....	23
Figura 4 - Histórico de quantidade de chuvas nos pontos de monitoramento medido em Tempo de Retorno (TR) nos anos de 2016 (esquerda) e 2020 (direita). .....	24
Figura 5 - Histórico de vazões nos pontos de monitoramento medido em Tempo de Retorno (TR) nos anos de 2016 (esquerda) e 2020 (direita). .....	25
Figura 6 - Concentração de Oxigênio Dissolvido (OD) nos pontos de monitoramento de qualidade de água em 2019/2020 (valores menores demonstram maior comprometimento da qualidade do corpo d'água). .....	26
Figura 7 - Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO <sub>5,20</sub> ) nos pontos de monitoramento de qualidade de água em 2019/2020 (valores maiores demonstram maior comprometimento da qualidade do corpo d'água). .....	27
Figura 8 - Concentração de fósforo nos pontos de monitoramento de qualidade de água em 2019/2020, os dados foram obtidos em ambientes lóticos e lênticos (valores maiores demonstram maior comprometimento da qualidade do corpo d'água). .....	28
Figura 9 - Coliformes termotolerantes nos pontos de monitoramento de qualidade de água em 2019/2020 (valores maiores demonstram maior comprometimento da qualidade do corpo d'água). .....	30
Figura 10 - Turbidez nos pontos de monitoramento de qualidade de água em 2019/2020 (valores maiores demonstram maior comprometimento da qualidade do corpo d'água). .....	31
Figura 11 - Índice de Qualidade da Água (IQA) nos pontos de monitoramento de qualidade de água nos anos de 2016 (esquerda) e 2019/2020 (direita). .....	32
Figura 12 - Curvas médias de variação de qualidade dos parâmetros usados no cálculo do IQA. ....	37

Figura 13 - Bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá.....	45
Figura 14 - Classes de solos da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá.....	46
Figura 15 - Mapa de declividade da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá. ....	47
Figura 16 - Valores de E. coli por data de amostragem (2010 a 2021) do ponto de monitoramento de captação de água da SAEG no ribeirão Guaratinguetá/SP (cont.) .....	53

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Características gerais dos principais grupos de cianotoxinas, seu alvo primário em mamíferos e gêneros produtores.....	40
---	----

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estatísticas do monitoramento hidrológico em 2020. ....	20
Tabela 2 - Parâmetros usados no cálculo do IQA e seus respectivos pesos. ....	35
Tabela 3 - Faixas de IQA utilizadas nos diferentes estados brasileiros. ....	37
Tabela 4 - Valores Máximos Permitidos (VMP) de cianotoxinas na água para consumo humano. ....	41
Tabela 5 - Probabilidade de efeitos adversos à saúde causado por cianotoxinas. ....	43
Tabela 6 - Série histórica (2010 a 2021) de parâmetros de qualidade da água* e IQA do ponto de monitoramento de captação de água da SAEG no ribeirão Guaratinguetá/SP. ....	51
Tabela 7 - Parâmetros biológicos da água do ponto de monitoramento de captação da SAEG no ribeirão Guaratinguetá em 2021. ....	56
Tabela 8 - Parâmetros biológicos do ponto de monitoramento de captação de água da SAEG no ribeirão Guaratinguetá em 2022. ....	57

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
APP	Áreas de Preservação Permanente
CBH-PS	Comitê das Bacias Hidrográficas do Rio Paraíba do Sul
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
Conama	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO <sub>5,20</sub>	Demanda Bioquímica de Oxigênio
ETA	Estação de Tratamento de Água
IAP	Índice de Qualidade das Águas
IB	Índice de Balneabilidade
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICF	Índice de Comunidade Fitoplanctônica
IET	Índice de Estado Trófico
IQA	Índice de Qualidade de Água
ISTO	Índice de Substâncias Tóxicas e Organolépticas
FLD	Filtros Lentos Domiciliares
NMT	Número mais provável
NT	Nitrogênio Total
OD	Oxigênio Dissolvido
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PNQA	Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas
PT	Fósforo Total
RT	Resíduo Total
SAEG	Companhia de Serviço de Água, Esgoto e Resíduos de Guaratinguetá
SIG	Sistema de Informações Geográficas
TR	Tempo de Retorno
UGRH	Unidades de Gestão de Recursos Hídricos
VMP	Valor Máximo Permitido
WHO	World Health Organization

## LISTA DE SÍMBOLOS

m	metros
mm	milímetros
mL	mililitros
NMP	Número Mais Provável
L	litros
s	segundos
μg	microgramas

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	17
2.1. OBJETIVO GERAL .....	17
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	17
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	18
3.1 PANORAMA BRASILEIRO DA QUALIDADE DOS RECURSOS HÍDRICOS ...	18
3.2 GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL .....	33
3.3. INDICADORES DE QUALIDADE DA ÁGUA .....	34
3.4. CIANOBACTÉRIAS E SEUS IMPACTOS NA SAÚDE HUMANA .....	38
3.5. BALNEABILIDADE DE ÁGUAS DESTINADAS A RECREAÇÃO .....	41
3.6. A BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE PLANEJAMENTO .....	44
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	45
4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	45
4.2. INFLUÊNCIA DO USO DO SOLO NA QUALIDADE DAS ÁGUAS DA BACIA ESTUDADA .....	48
4.3. ANÁLISE TEMPORAL DA QUALIDADE DA ÁGUA DA BACIA .....	49
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	51
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	62
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	63
<b>BIOBLOGRAFIA CONSULTADA</b> .....	65



## 1. INTRODUÇÃO

A Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei Federal nº 9.433/97 é considerada um marco no aperfeiçoamento da gestão e planejamento dos recursos hídricos brasileiros, sendo a bacia hidrográfica, a unidade territorial adotada para sua implementação. Neste aspecto, os estudos de Colli et al (2020), Faria (2012) e Ferreira *et al* (2011) comprovaram que a ocupação e o uso do solo para o desenvolvimento de atividades antrópicas podem causar impactos sobre os processos físicos, químicos e biológicos dos ecossistemas das bacias hidrográficas, com reflexos na qualidade das águas.

A qualidade da água de uma bacia hidrográfica é influenciada por processos naturais, como clima, topografia, classes de solos, intensidade das precipitações, processos intempéricos, cobertura vegetal, bem como por ações antrópicas no desenvolvimento de atividades agropecuárias, urbanização, crescimento industrial, o que tem como consequência, a demanda de água para múltiplos usos. Portanto, a poluição da água pode ocorrer pela alteração de suas propriedades físicas, químicas e biológicas causada por interferências naturais ou antrópicas. O uso e ocupação do solo de forma desordenada e o desenvolvimento agropecuário representam fontes de poluição difusa, proveniente de escoamentos superficiais sazonais e se espalham por uma grande área, ou poluição pontual, quando a poluição é concentrada e seu impacto é facilmente perceptível (BRANCO, 2014).

De acordo com Faria (2012), as alterações dos parâmetros de qualidade das águas podem ser causadas, principalmente, pelo uso e ocupação do solo, que determina o lançamento de resíduos orgânicos e compostos tóxicos derivados das atividades antrópicas, que constituem fontes pontuais e difusas de poluição.

O conhecimento da qualidade da água por meio de diagnósticos temporais e espaciais possibilita inferir sobre as condições da bacia hidrográfica como um todo e gera subsídios às políticas públicas para o gerenciamento e as tomadas de decisão na adoção de medidas de intervenção, que visam assegurar a qualidade dos mananciais e favorecem o desenvolvimento sustentável e a preservação dos ecossistemas (TUNDISI, 2008).

No Brasil, a avaliação da qualidade da água de uma bacia hidrográfica é realizada por meio de parâmetros físicos, químicos e biológicos, cujos resultados são comparados aos padrões de qualidade estabelecidos pela Resolução do CONAMA nº 357/2005 e nº 430/2011.

Essa Resolução classifica os corpos d'água em função dos diferentes usos preponderantes e define padrões de qualidade para cada uso (BRASIL, 2005). O Índice de Qualidade de Água (IQA) também tem sido utilizado como instrumento para o monitoramento da qualidade da água em todo o território brasileiro.

No município de Guaratinguetá (SP), foi implementado o Programa Produtor de Água, na bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá, contemplada por ações desenvolvidas por diversos órgãos públicos devido a sua importância como manancial de abastecimento do município, utilizado pela Companhia de Serviço de Água, Esgoto e Resíduos de Guaratinguetá (SAEG). Entre estas ações destaca-se o projeto “Revitalização fluvial utilizando os princípios e técnicas da Ecohidrologia e da Geotecnia – O ribeirão Guaratinguetá, Bacia do Rio Paraíba do Sul” realizado pela parceria entre o Departamento de Engenharia Civil da FEG/UNESP e a Prefeitura Municipal, sob a coordenação da professora Isabel Trannin, que gerou informações relevantes para a efetivação da revitalização desta bacia. Os resultados obtidos neste projeto de pesquisa evidenciaram que o uso do solo e as atividades produtivas têm relação direta com a qualidade e a quantidade dos recursos hídricos que integram esta bacia hidrográfica (FERREIRA *et al*, 2011; FARIA, 2012).

Neste contexto, este trabalho deu continuidade aos estudos dos indicadores de qualidade da água desta bacia, sob a influência de diferentes atividades econômicas e do uso e ocupação do solo, para identificar os parâmetros de maior vulnerabilidade à poluição e avaliar os efeitos do Programa Produtor de Água sobre a qualidade da água da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá, comparando os resultados das análises atuais aos obtidos por Faria (2012) para os anos de 2007 e 2008, período anterior à implementação deste programa.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GERAL**

Diagnosticar a qualidade da água da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá, durante os dez anos de implementação do Programa Produtor de Água, por meio da análise de parâmetros indicadores, que compõem o Índice de Qualidade da Água (IQA), fornecidos pela CETESB na plataforma Infoaguas.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Obter dados sobre os parâmetros indicadores de qualidade da água, que compõem o IQA, da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá, em período anterior e durante os 10 anos de implementação do Projeto Produtor de Águas, utilizando a ferramenta Infoáguas disponibilizada pela CETESB e os dados disponibilizados pela SAEG.
- Compilar os dados sobre os parâmetros indicadores de qualidade da água, da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá e calcular o IQA.
- Diagnosticar a evolução temporal da qualidade da água da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá para avaliar o impacto do Programa Produtor de Águas e propor medidas para que a qualidade da água no ponto de captação da SAEG seja melhorada.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 PANORAMA BRASILEIRO DA QUALIDADE DOS RECURSOS HÍDRICOS

A água é o recurso natural mais precioso para a manutenção da vida e do desenvolvimento humano, sendo sua demanda elevada para atender os múltiplos usos. Cerca de 71% do planeta Terra é formado por água e, apenas 2,5% desse volume corresponde à água doce, sendo que dessa quantidade, 69% estão nas geleiras, com difícil acesso, 30% em aquíferos e somente 1% em rios e lagos (ANA, 2020).

O Brasil, embora detenha a maior quantidade de água doce do nosso planeta, cerca de 12%, apresenta problemas de escassez hídrica em períodos de estiagem e poluição de rios e águas subterrâneas, não se abstendo dos problemas mundiais (ANA, 2020).

De acordo com dados do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), em setembro de 2021 foi registrado o menor nível nos reservatórios na região Sudeste e Centro-Oeste, menos de 20% de sua capacidade, pior resultado desde agosto de 2001. Diante desse cenário, torna-se cada vez mais claro a importância de cuidar da qualidade dos recursos hídricos que temos e adotar medidas de prevenção às crises futuras e assim garantir a disponibilidade de água potável nos períodos de escassez hídrica, por meio de técnicas de saneamento básico e de preservação ambiental, respeitando as áreas de proteção permanente, com manutenção de matas ciliares e de nascentes e planejamento de atividades econômicas em bacias hidrográficas. Essas medidas podem contribuir com o desenvolvimento social e econômico global, junto com a melhoria da qualidade de vida de milhões de pessoas, principalmente em países mais pobres e em desenvolvimento, que apresentam maiores dificuldades quanto à disponibilidade física e econômica de recursos hídricos e, por consequência, amenizar a desigualdade social.

A quantidade e a qualidade da água disponível em uma bacia hidrográfica, geralmente, estão relacionadas às atividades econômicas, sociais e ao uso e ocupação do solo. Para analisar a qualidade da água de uma bacia hidrográfica é preciso considerar todas as interações dos corpos d'água com o ambiente físico, biótico e antrópico. As atividades antrópicas afetam diretamente a qualidade da água e trazem consequências à saúde pública.

Dessa forma, com o agravamento da poluição dos mananciais hídricos nos últimos anos, o monitoramento da qualidade da água de bacias hidrográficas, e o desenvolvimento de estudos

para o desenvolvimento de técnicas de saneamento, tornaram-se indispensáveis para a melhoria da qualidade de vida. A disponibilização das informações sobre a qualidade dos recursos hídricos pode subsidiar as políticas públicas em tomadas de decisão, quando forem necessárias medidas de intervenção para a melhoria da qualidade d'água e da vida da população, de forma a equilibrar as necessidades econômicas e ambientais de uma determinada bacia hidrográfica. Outro fator importante é o monitoramento constante de parâmetros indicadores de qualidade da água, considerando que estes indicadores geram informações sobre a efetividade das medidas que estão sendo adotadas em uma bacia hidrográfica para diminuir os impactos de uma determinada atividade econômica. Quando os pontos de monitoramento de indicadores de qualidade da água são georreferenciados no mapa da bacia hidrográfica, é possível identificar as atividades econômicas que estão influenciando diretamente a qualidade da água, dando oportunidade de ajustar as ações com o desenvolvimento econômico da bacia (BRANCO, 2014).

A Agência Nacional de Águas e Saneamento (ANA) com o objetivo de monitorar e divulgar o panorama das águas brasileiras, produziu o Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil, criado a partir de uma rede estabelecida com mais de 50 instituições parceiras, abrangendo os órgãos gestores de recursos hídricos de todas as Unidades da Federação, e outras instituições do governo federal, e corresponde à atualização periódica do estado dos recursos hídricos no Brasil, em atendimento aos normativos do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). Os dados para a construção do relatório foram obtidos a partir das estações e reservatórios de monitoramento espalhados pelo país (Tabela 1). A edição de 2021 é marcada pela transformação do relatório para um formato digital e interativo (ANA, 2021).

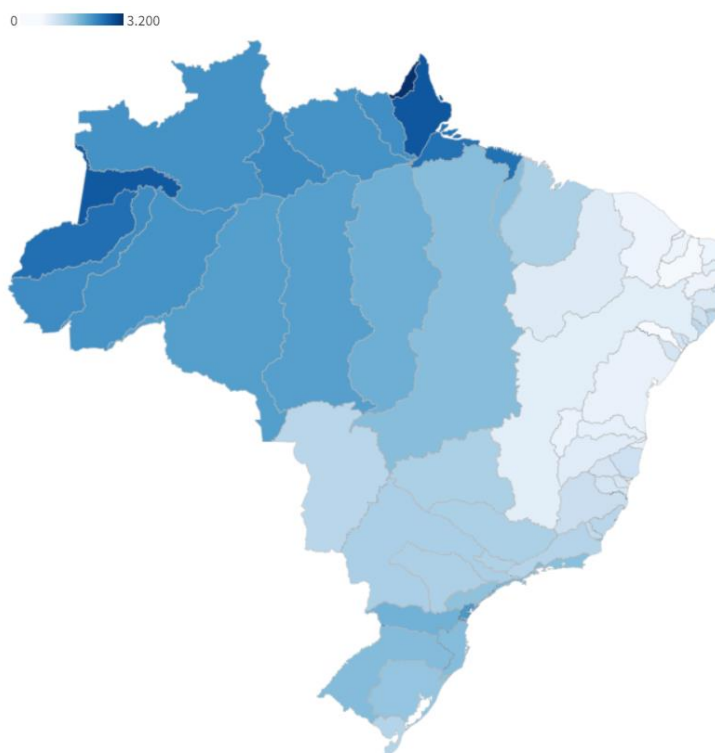
Tabela 1 - Estatísticas do monitoramento hidrológico em 2020.

Estações de Qualidade de Água dos Estados	2.938
Estações Pluviométricas Gerenciadas pela ANA	2.717
Estações Fluviométricas Gerenciadas pela ANA	2.024
Estações de Qualidade da Água da ANA	1.485
Reservatórios Monitorados pela ANA via satélite	713
Plataformas de Coleta de Dados	654
Pontos de Monitoramento de Águas Subterrâneas	409
Estações Virtuais Monitoradas por Satélite	245

Fonte: ANA (2021).

Apesar do Brasil apresentar grande quantidade de água potável, a vazão média e a quantidade de chuva não é distribuída uniformemente pelo território (Figuras 1 e 2), sendo 80% dessa água localizada na bacia Amazônica, que ocupa 45% do território brasileiros (abrangendo os Estados do Acre, Amazonas, Rondônia, Roraima, Amapá, Pará e Mato Grosso) e apresenta uma densidade populacional dez vezes menor que a média nacional. Foi observado no ano de 2021 um volume de menos de 500 mm de chuva na região Semiárida, no Nordeste, e mais de 3.000 mm na região Amazônica, ao norte (ANA, 2021).

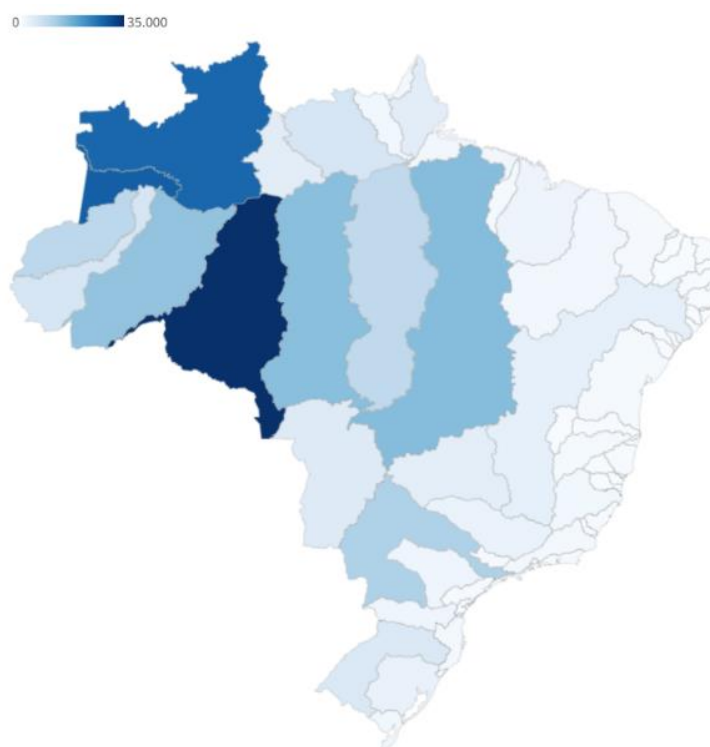
Figura 1- Volume de chuva anual no território brasileiro por Unidade de Gestão dos Recursos Hidrográficos em mm (2021).



Fonte: ANA (2021).

Na última década foi observado uma redução significativa no regime de chuvas e nas vazões das bacias em grande parte do Brasil, em especial no período de 2014 a 2017 e no ano de 2020. A seca foi especialmente intensa na região Nordeste no período de 2012 e 2016 e por consequência 65 açudes que fornecem água para abastecimento público encontravam-se secos em dezembro de 2016. Foram observadas reduções importantes nas vazões das Unidades de Gestão de Recursos Hídricos (UGRH) São Francisco, UGRH Tocantins-Araguaia e em grande parte da UGRH Paraguai. Em contra partida, houve aumentos pontuais das vazões em algumas UGRHs na última década, como na UGRH da bacia Amazônica e em partes das UGRHs na bacia do Paraná. Também foi observado aumento em partes da UGRH do Uruguai (ANA, 2021).

Figura 2 - Vazão média de água no território brasileiro por Unidade de Gestão dos Recursos Hidrográficos em m<sup>3</sup>/s (2021).



Fonte: ANA (2021).

No período entre 2010 e 2020 foi observado, em relação à média entre 1980 e 2010, uma redução mais acentuada nas vazões de água nos pontos de monitoramento na região Nordeste e em menor intensidade na região Sudeste e Centro-Oeste, enquanto que na região Sul houve um aumento da vazão ao norte e uma diminuição ao sul (Figura 3). A região Norte, apesar de sua extensão, tem menos pontos de monitoramento e foi observado uma variedade entre aumentos e reduções nas vazões nos pontos de monitoramento da região (ANA, 2021).



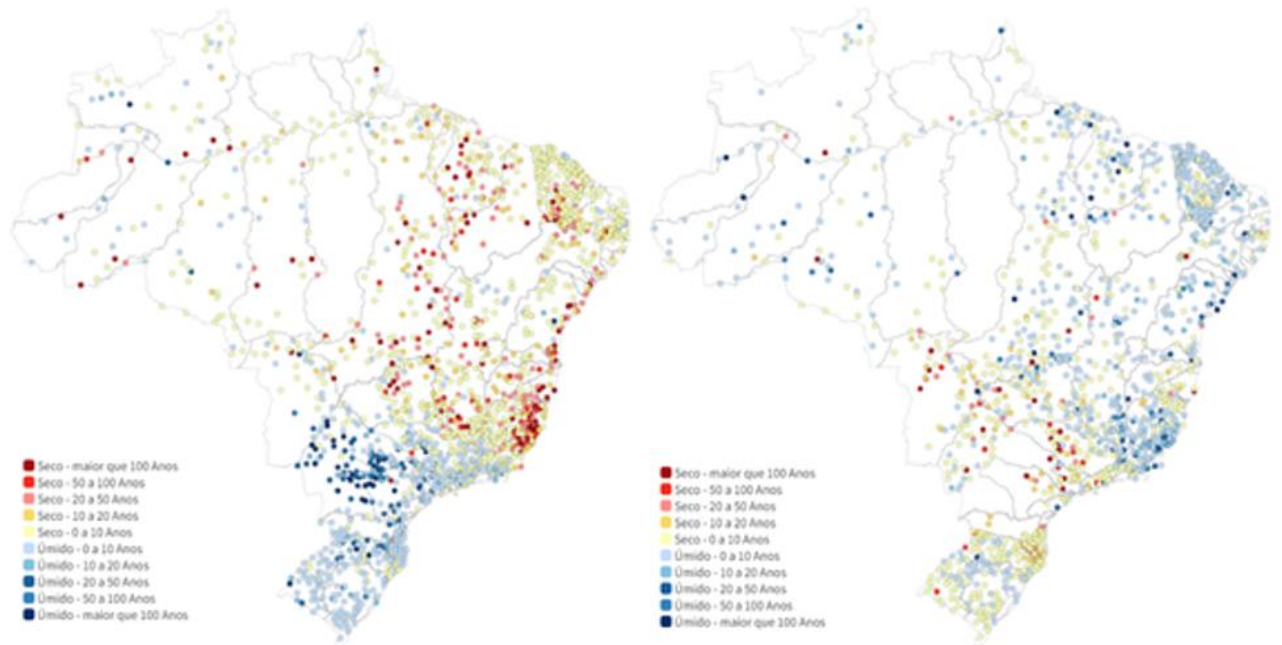
Figura 3 - Diferença nas vazões nos pontos de monitoramento considerando dados de 2010 até 2020 em relação à média entre 1980-2010 em %.



Fonte: ANA (2021).

Desde o ano de 2016, tem-se observado uma redução na precipitação, apresentando valores abaixo da média nacional. Para avaliar a magnitude dessa redução, foi utilizado o parâmetro de tempo de retorno (TR), que determina o tempo, em anos, que se espera que um determinado evento ocorra. Dessa forma, foi observado vários pontos nas regiões norte e nordeste onde ocorreu eventos críticos de seca que só são esperadas a cada 50 anos, em média. Foi visto um aumento no volume de chuvas nessas regiões a partir de 2020, junto com o deslocamento da seca para a região sul do país, abrangendo parte importante da bacia hidrográfica do Paraná (Figura 4). Esse deslocamento culminou na recente crise energética brasileira (ANA, 2021).

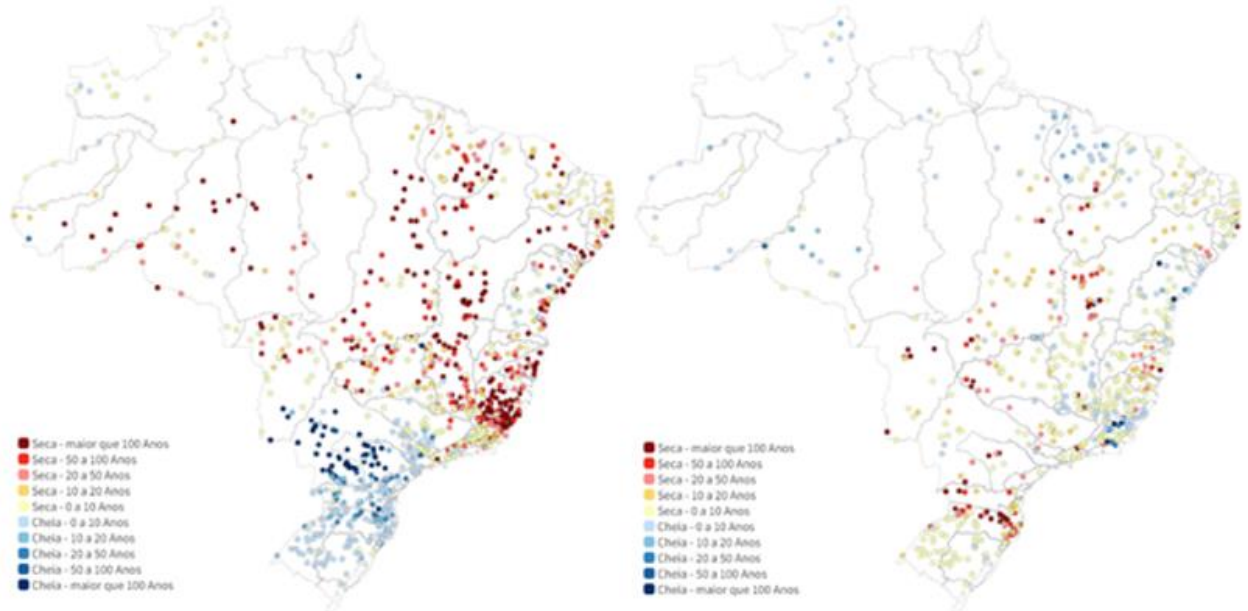
Figura 4 - Histórico de quantidade de chuvas nos pontos de monitoramento medido em Tempo de Retorno (TR) nos anos de 2016 (esquerda) e 2020 (direita).



Fonte: ANA (2021).

Para os dados de vazão, foi observado desde 2016 um panorama semelhante ao mostrado pelo de precipitação, porém com eventos de seca mais acentuados (Figura 5), demonstrando que não apenas a quantidade de precipitação influencia na disponibilidade hídrica, mas outros fatores como o modo de utilização da água e o uso e ocupação do solo também tem impacto significativo na vazão. Observa-se uma quantidade significativa de valores preocupantes de vazões, onde os tempos de retorno foram maiores que 100 anos, nas UGRHs localizadas no Nordeste setentrional, São Francisco e Tocantins-Araguaia e, mais recentemente, foi observado esse fenômeno em UGRHs das regiões Sul e Sudeste do Brasil, demonstrando que o aumento no volume das chuvas em 2020 ainda não foi suficiente para acarretar em uma melhora na disponibilidade de recursos hídricos, demonstrando que os efeitos da seca hidrológica se prolongam além da seca meteorológica. Dessa forma, ações para a preservação dos recursos hídricos são de suma importância para a manutenção da saúde pública e para a produção de energia sem depender exclusivamente do regime de chuvas (ANA, 2021).

Figura 5 - Histórico de vazões nos pontos de monitoramento medido em Tempo de Retorno (TR) nos anos de 2016 (esquerda) e 2020 (direita).



Fonte: ANA (2021).

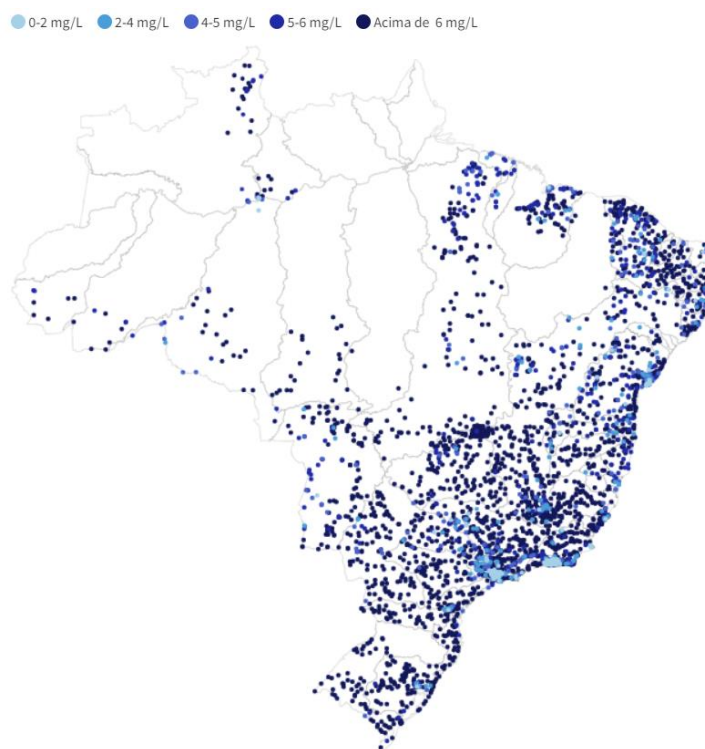
A qualidade da água influencia diretamente na disponibilidade hídrica para o consumo humano, recreação, produção de alimentos e usos industriais. A qualidade das águas pode ser afetada por fatores naturais, como o regime de chuvas, o escoamento superficial, geologia, cobertura vegetal, e por fatores antrópicos, como a contaminação do corpo d'água por lançamento de efluentes não tratados, o tipo de manejo dos solos e das cargas contaminadas que são despejadas ou dispostas em superfície ou subsuperfície próximas. Dessa forma, o monitoramento da qualidade da água é tão importante quanto a observação da disponibilidade hídrica e do regime de chuvas. Para avaliar a qualidade da água são usados indicadores e parâmetros que indicam as substâncias e organismos presentes nela e determinam o uso mais adequado para cada corpo d'água.

O Oxigênio Dissolvido na Água (OD) é um dos parâmetros na avaliação da qualidade da água, já que baixas concentrações de OD afetam a sobrevivência da flora e fauna do corpo d'água e indicam um desequilíbrio no ecossistema. É mais comum observar valores maiores de

OD em água corrente e fria, se comparados a águas paradas, quentes e ricas em matéria orgânica. A eutrofização também tem impacto no OD, pois a poluição intensifica o crescimento de algas e plantas aquáticas, que levam ao aumento do consumo do oxigênio, já que ao morrerem elas são decompostas por bactérias que se proliferam e consomem o oxigênio da água. Além disso, as algas e plantas também consomem oxigênio através da respiração noturna, período que não produzem oxigênio pela fotossíntese (ANA, 2021).

Rios que atravessam centros urbanos e recebem grandes cargas de poluição pontual e difusa, concentram os pontos de monitoramentos com menores valores de OD, como os pontos próximos dos centros urbanos de Manaus, Rio de Janeiro, Recife e São Paulo (Figura 6).

Figura 6 - Concentração de Oxigênio Dissolvido (OD) nos pontos de monitoramento de qualidade de água em 2019/2020 (valores menores demonstram maior comprometimento da qualidade do corpo d'água).



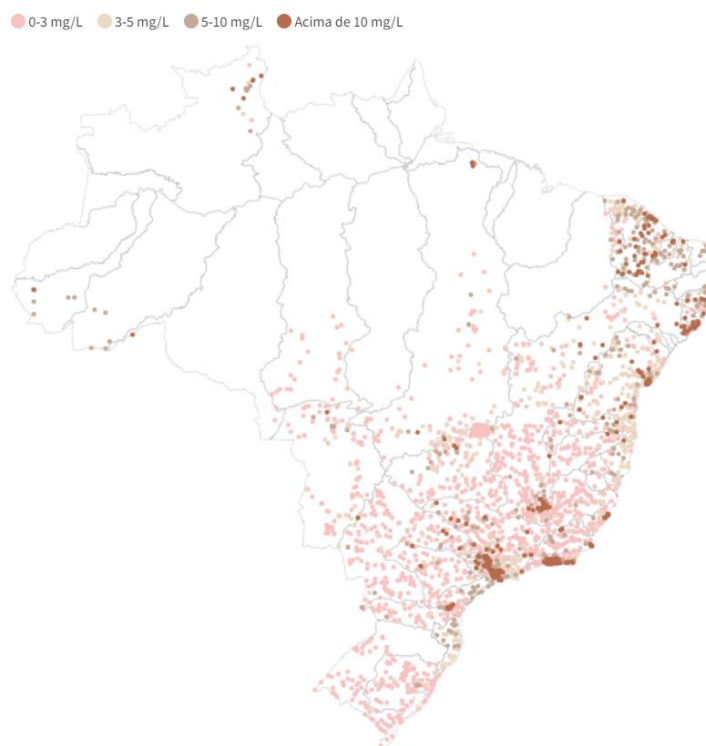
Fonte: ANA (2021).

Outro parâmetro de qualidade de água é a Demanda Bioquímica de Oxigênio ( $DBO_{5,20}$ ) que corresponde a quantidade de oxigênio dissolvido na água que foi consumido por bactérias

e outros microrganismos. Dessa forma, a  $DBO_{5,20}$  está relacionada com o OD, já que altos valores da  $DBO_{5,20}$  denotam a proliferação de bactérias e microrganismos que consomem oxigênio (ANA, 2021).

Como é de se esperar, foi observado que em corpos d'água que atravessam os grandes centros urbanos e apresentaram baixos valores de OD, apresentaram altos valores de  $DBO_{5,20}$ , mostrando o impacto do despejo de contaminantes nos corpos d'água (Figura 7).

Figura 7 - Demanda Bioquímica de Oxigênio ( $DBO_{5,20}$ ) nos pontos de monitoramento de qualidade de água em 2019/2020 (valores maiores demonstram maior comprometimento da qualidade do corpo d'água).

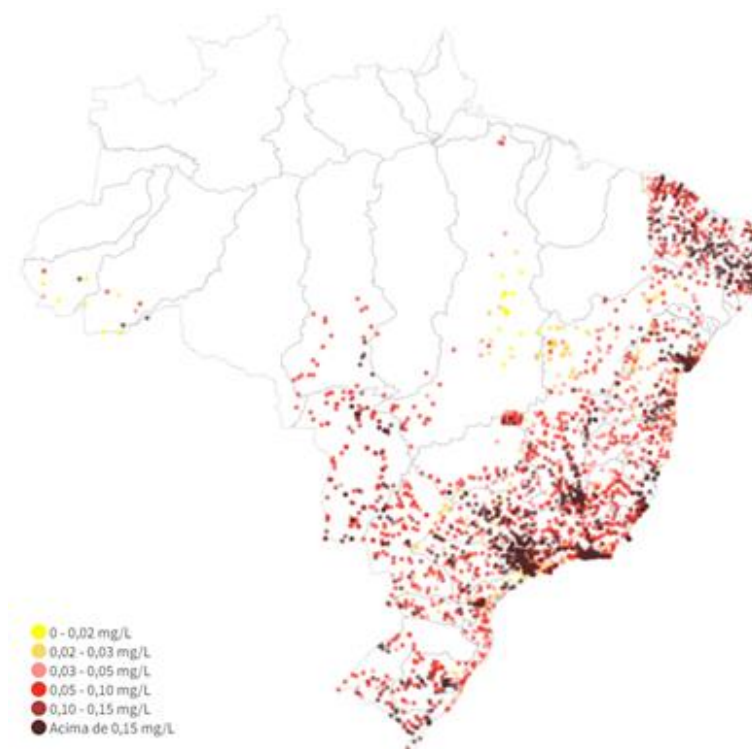


Fonte: Fonte: ANA (2021).

O aumento do fósforo nos rios, e principalmente em ambientes lânticos, como em lagoas e reservatórios, pode desencadear o crescimento excessivo de algas e levar à eutrofização do corpo d'água. Algumas dessas algas têm potencial de produzir substâncias tóxicas, comprometendo a saúde humana e animal da região que é abastecida pela água contaminada. A principal fonte de fósforo são os resíduos dos solos da bacia hidrográfica, que são levados

pela chuva para o corpo d'água e são provenientes do uso sem critérios técnicos de fertilizantes, despejo de dejetos animais e efluentes domésticos e industriais sem o devido tratamento. A erosão dos solos nas margens dos corpos d'água e o assoreamento de rios, aumenta o aporte de fósforo carregado para dentro dos corpos hídricos, portanto o uso adequado do solo, a implementação de boas práticas agrícolas, principalmente em relação à fertilizantes, e a preservação da mata ciliar são medidas fundamentais para o controle do fósforo e para a manutenção da qualidade da água (ANA, 2021).

Figura 8 - Concentração de fósforo nos pontos de monitoramento de qualidade de água em 2019/2020, os dados foram obtidos em ambientes lóticos e lênticos (valores maiores demonstram maior comprometimento da qualidade do corpo d'água).



Fonte: ANA (2021).

Na região Semiárida, em virtude da menor oferta de água e do regime intermitente de seus rios, o foco no monitoramento de fósforo nessas áreas foi nos reservatórios. Foi observado altas concentrações de fósforo nessa região nos anos de 2019 e 2020 (Figura 8), representando alto risco de eutrofização dessas águas. Altas concentrações de fósforo foram observadas nas

grandes cidades, se estendendo para o interior, principalmente em bacias com problemas de erosão e assoreamento e onde as atividades agrícolas são intensas. Como exemplo, podemos citar os açudes Várzea do Boi, no Ceará, e Acauã na Paraíba, entre outros do Semiárido.

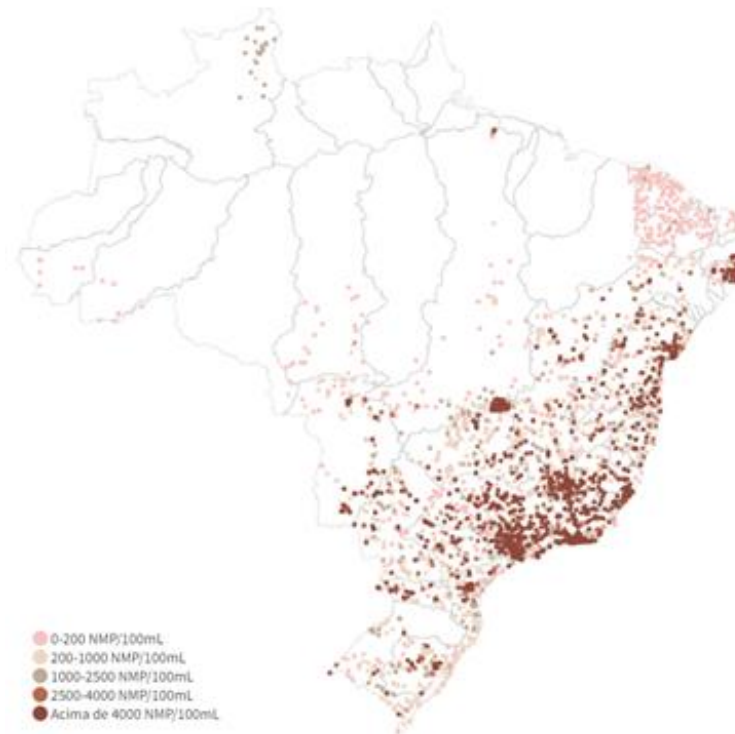
Nas grandes cidades das demais regiões, muitos reservatórios urbanos também apresentam concentrações altas de fósforo. É o caso das lagoas de Jacarepaguá, no Rio Janeiro, e da Pampulha, em Belo Horizonte. O que ocorre nestas lagoas é resultado do acúmulo do fósforo proveniente dos rios afluentes, que recebem volumosas cargas deste constituinte da água ao longo de seu curso no meio urbano (ANA, 2021).

Coliforme termotolerante é um grupo de bactérias encontradas no aparelho digestivo de animais de sangue quente, sendo seu principal representante a bactéria *E. coli*. A concentração de coliformes na água de rios e lagos é geralmente expressa pelo Número Mais Provável em cada 100 mL de amostra (NMP/100mL), sendo esse parâmetro o mais importante na detecção da contaminação da água por fezes. A maioria das redes estaduais de monitoramento da qualidade da água utiliza *E. coli* como indicador da poluição fecal, embora algumas utilizem os coliformes termotolerantes.

A contaminação das águas por coliformes termotolerantes representam um grande risco a saúde humana e seu monitoramento é importante para acompanhar o avanço dos serviços de saneamento básico no país. No campo os dejetos de animais são uma fonte importante de contaminação e demandam tratamento. Concentrações críticas são observadas em trechos de rios em diversas cidades, a exemplo do rio Gravataí, em Porto Alegre; córrego Guavirutuba, afluente da represa de Guarapiranga, em São Paulo; rio Iguçu, em Curitiba; e rio Aribiri, em Vitória (Figura 9). Não foram observados altos valores do parâmetro na região nordeste, pois o foco do monitoramento da qualidade de água nessa região são os reservatórios, que por sua vez têm grande capacidade de diluição o da poluição fecal (ANA, 2021).



Figura 9 - Coliformes termotolerantes nos pontos de monitoramento de qualidade de água em 2019/2020 (valores maiores demonstram maior comprometimento da qualidade do corpo d'água).



Fonte: ANA (2021).

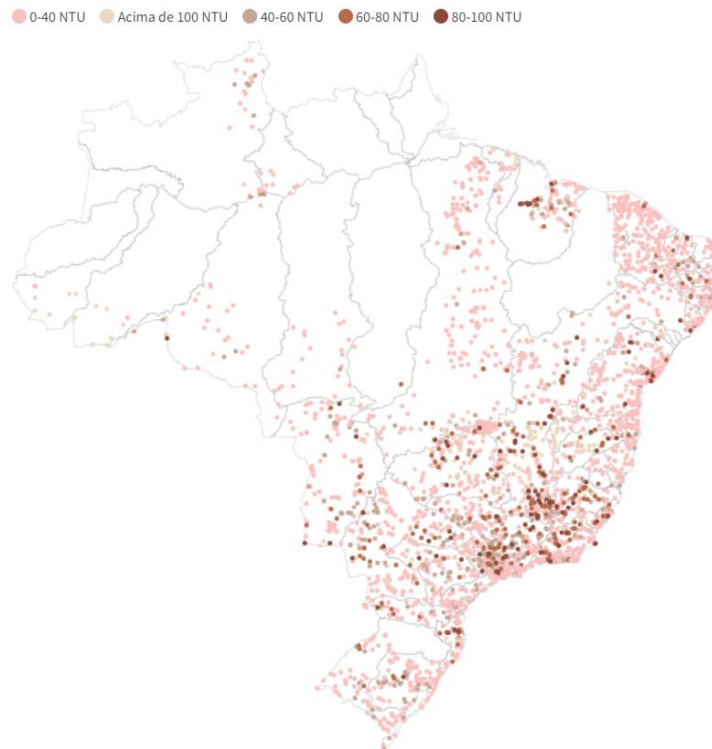
A turbidez é um parâmetro que mede a transparência d'água, sendo inversamente proporcional à concentração de partículas coloidais ou suspensas. Por ser um indicador de fácil aferição, sem a necessidade de técnicas laboratoriais, mudanças súbitas na turbidez são visualmente detectáveis, podendo indicar casos de desastres e eventos hidrológicos críticos, como os rompimento de barragens ou cheias. O uso da terra também pode alterar os valores de turbidez da água, como em áreas em que a cobertura vegetal é extremamente escassa e os mecanismos de erosão são intensos, levando ao assoreamento dos rios e no aumento da turbidez. Podemos observar esse fenômeno na região Centro-Oeste e na UGRH São Francisco (Figura 10).

Nos pontos de monitoramento dos rios Doce e Paraopeba, respectivamente, observa-se grande variação da turbidez, com elevados valores máximos nas coletas de 2019 e 2020. Isto está provavelmente relacionado com a ressuspensão e deslocamento de material acumulado no



fundo dos rios após os rompimentos das barragens de Fundão e Santarém, ocorrido em Mariana/MG em 2015, e de Córrego do Feijão, em Brumadinho/MG em 2019 (ANA, 2021).

Figura 10 - Turbidez nos pontos de monitoramento de qualidade de água em 2019/2020 (valores maiores demonstram maior comprometimento da qualidade do corpo d'água).

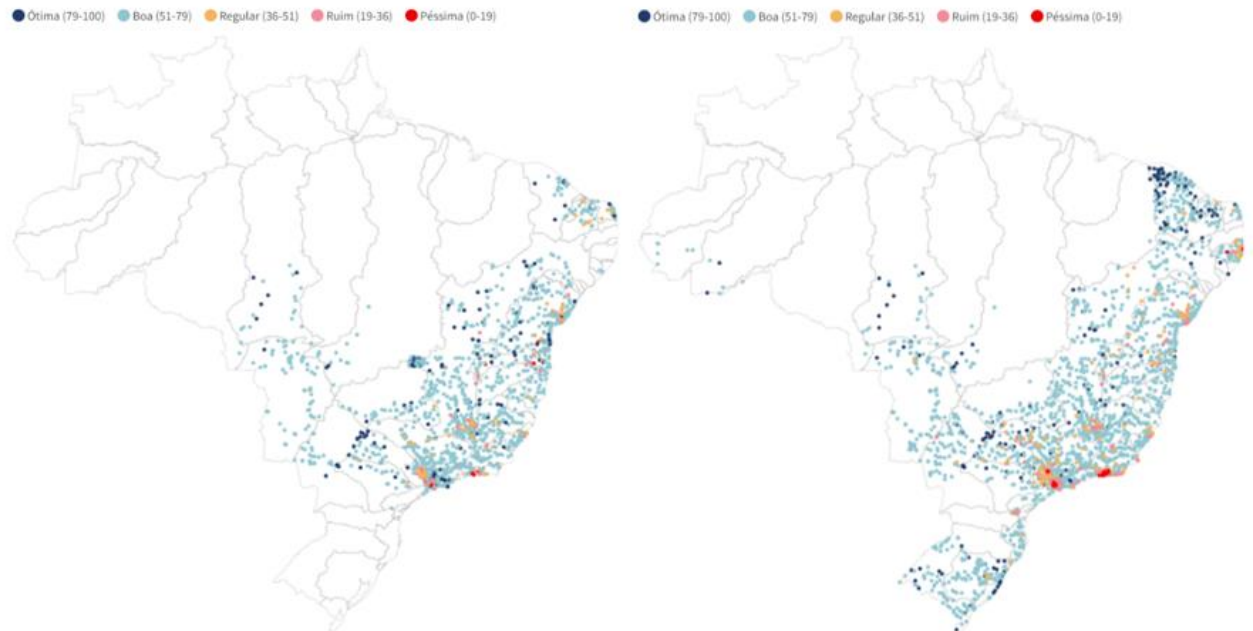


Fonte: Fonte: ANA (2021).

O Índice de Qualidade da Água (IQA) foi desenvolvido em 1970 National Sanitation Foundation nos Estados Unidos e abrange nove parâmetros de qualidade de água com diferentes pesos (OD, DBO<sub>5,20</sub>, temperatura, pH, coliformes termotolerantes, nitrogênio, fósforo, sólidos e turbidez). Por conta disso o IQA responde bem ao lançamento de efluentes domésticos e industriais e outras fontes de poluição que afetam a qualidade da água (ANA, 2021).

Como pode ser observado na Figura 11, o cálculo de IQA foi adaptado pela ANA para aumentar a abrangência do cálculo, já que há diferenças entre as redes estaduais de monitoramento no Brasil. Foi observado valores de IQA menores nos grandes centros urbanos e suas proximidades, além de uma piora no índice de 2016 a 2019 e 2020.

Figura 11 - Índice de Qualidade da Água (IQA) nos pontos de monitoramento de qualidade de água nos anos de 2016 (esquerda) e 2019/2020 (direita).



Fonte: ANA (2021).

O IQA, apesar de ser um bom indicador de qualidade de água, ele pode camuflar fatores de risco, como por exemplo a quantidade de coliformes termotolerantes na água e a concentração de fósforo, pois é visível que há pontos em que os valores desses parâmetros foram elevados, mas o IQA considera a qualidade da água como bom ou ótimo, além de não avaliar outros fatores como metais pesados e protetivos agrícolas. Dessa forma é importante a avaliação de todo o panorama, com o monitoramento e avaliação de todos os parâmetros que compõe o IQA e não apenas do índice, pois a partir da análise aprofundada dessas informações é que se pode promover políticas públicas assertivas. Da mesma forma, a coleta desses dados deve ser o mais constante durante o tempo possível, para evitar lacunas temporais na análise e assim averiguar o impacto das políticas públicas adotadas.

### 3.2 GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL

No Brasil, a Agência Nacional de Águas e Saneamento - ANA, criada pela Lei nº 9.984/2000, é responsável por regularizar, monitorar e fazer cumprir os objetivos da Lei das Águas, Lei Federal nº 9.433/1997, pela regulação dos recursos hídricos da União, emitindo e fiscalizando o cumprimento das normas e da segurança de barragens outorgadas a esta agência. Com o novo marco legal do saneamento básico, Lei nº 14.026/2020, esta agência passou a editar também, as normas de referência, contendo diretrizes para a regulação dos serviços de saneamento básico, o que inclui abastecimento de água, esgotamento sanitário, manejo de resíduos sólidos e drenagem de águas pluviais. A ANA também é responsável pelo monitoramento dos recursos hídricos brasileiros, obtendo informações com a colaboração de parceiros estaduais, sobre nível, vazão e sedimentos dos rios ou quantidade de chuvas, sendo estes dados, necessários para a prevenção de secas e inundações e para a definição de normas e diretrizes, pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), de reservatórios das usinas hidrelétricas.

Com o Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas - PNQA, implementado pela ANA, com o objetivo de ampliar os conhecimentos sobre a qualidade das águas superficiais do país, foi possível nortear medidas de gestão pública para recuperar e manter a qualidade dos corpos d'água, contribuindo para a gestão sustentável dos recursos hídricos. Para atingir tal meta, o programa se baseia em quatro objetivos, que servirão de motivação para essa pesquisa:

1. *Eliminar lacunas geográficas e temporais no monitoramento da qualidade da água:* a ANA opera uma rede básica de monitoramento remoto com 1.340 pontos pelo país, permitindo que haja o monitoramento sem a necessidade de coleta, transporte e análise em laboratório. Porém, as sondas usadas só permitem a análise de quatro parâmetros (pH, oxigênio dissolvido, condutividade e temperatura). Mas só esses parâmetros não são suficientes para analisar com clareza a qualidade dos corpos de água, necessitando análise das amostras em laboratório. Mesmo que os custos das análises não sejam altos, a logística de coleta, armazenamento e transporte das amostras na maioria das vezes é o que encarece o processo, considerando que os pontos de coleta são, normalmente, de difícil acesso. Dessa forma, muitos Estados não têm

condições de manter o monitoramento por tempo prolongado de seus corpos d'água, gerando lacunas geográficas e temporais nos dados de qualidade hídrica.

2. *Tornar as informações de qualidade de água comparáveis em âmbito nacional:* é muito difícil hoje em dia comparar dados de amostras no Brasil, já que o país não apresenta procedimentos padrões para a coleta e preservação de amostras, assim amostras tiradas de um mesmo rio, podem ter resultados diferentes dependendo da instituição que as coletar e analisar. Se houver a padronização desse processo, os dados passam a ter maior comparabilidade. Outro ponto a se levar em consideração é a diferença entre as frequências e parâmetros analisados nas campanhas de monitoramento de estado para estado, assim fica mais difícil analisar a evolução de uma região hidrográfica que se divide em dois ou mais estados. Dessa forma, é imprescindível a adoção de métodos padrões de coleta, preservação, transporte e análise das amostras, para que os dados sejam comparáveis e a evolução da qualidade seja melhor construída.

3. *Aumentar a confiabilidade das informações de qualidade de água:* muitos laboratórios de análise de qualidade de água, não possuem certificação em programas de acreditação ou não realizam intercalibração laboratorial, fatores que se aplicados aumentam a confiabilidade das informações. E para dificultar, alguns laboratórios também não apresentam corpo de trabalho capacitado para operação dos equipamentos de laboratório, o que diminui a confiabilidade dos testes.

4. *Avaliar, divulgar e disponibilizar à sociedade as informações de qualidade de água:* os dados sobre a qualidade da água devem ser públicos e amplamente divulgados, e não só eles, mas também as conclusões dos estudos, para que a comunidade possa cobrar dos gestores públicos atitudes para melhoria da qualidade da água e de vida da população.

### 3.3. INDICADORES DE QUALIDADE DA ÁGUA

Para avaliar a qualidade da água é necessário determinar e analisar parâmetros químicos, físicos e biológicos, além de substâncias tóxicas e outros que afetam a qualidade organoléptica. Existem vários indicadores de qualidade da água e cada um deles avalia diferentes parâmetros, dependendo do corpo d'água e dos objetivos da análise. Podemos citar como índices: o Índice

de Qualidade das Águas (IQA), o Índice de Qualidade de Águas Brutas para Fins de Abastecimento Público (IAP), o Índice de Preservação da Vida Aquática (IVA), o Índice de Estado Trófico (IET), o Índice de Comunidade Fitoplanctônica (ICF), o Índice de Balneabilidade (IB), entre outros, sendo o mais utilizado no Brasil, o IQA (CETESB, 2020).

O IQA foi desenvolvido nos Estados Unidos, na década de 1970, pela *National Sanitation Foundation* e, a partir de 1975, foi adotado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) e difundido, posteriormente, para todo o Brasil, se tornando o principal índice para a avaliação da qualidade da água para abastecimento público. Este índice utiliza nove parâmetros, incluindo físicos, químicos e biológicos: oxigênio dissolvido (OD); coliformes termotolerantes (*E. coli*); pH; demanda bioquímica de oxigênio – DBO<sub>5,20</sub>, temperatura, nitrogênio total, fósforo total, turbidez e sólidos totais. Porém, o IQA apresenta limitações, tendo em vista que não avalia a quantidade de substâncias tóxicas, patógenos e outros poluentes, que podem causar doenças e elementos que prejudicam as características organolépticas da água. Cada um dos nove parâmetros que compõem o IQA, apresenta um peso (w) determinado por sua importância para a conformação do índice (Tabela 2).

Tabela 2 - Parâmetros usados no cálculo do IQA e seus respectivos pesos.

<b>Parâmetros de Qualidade da Água</b>	<b>Peso (W)</b>
Oxigênio Dissolvido	0,17
Coliformes Termotolerantes	0,15
pH	0,12
DBO <sub>5,20</sub>	0,10
Temperatura	0,10
Nitrogênio total	0,10
Fósforo total	0,10
Turbidez	0,08
Resíduo total (Sólidos Totais)	0,08

Fonte: CETESB (2021).

O cálculo do IQA é feito por meio do produtório ponderado dos nove parâmetros:

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

Onde:

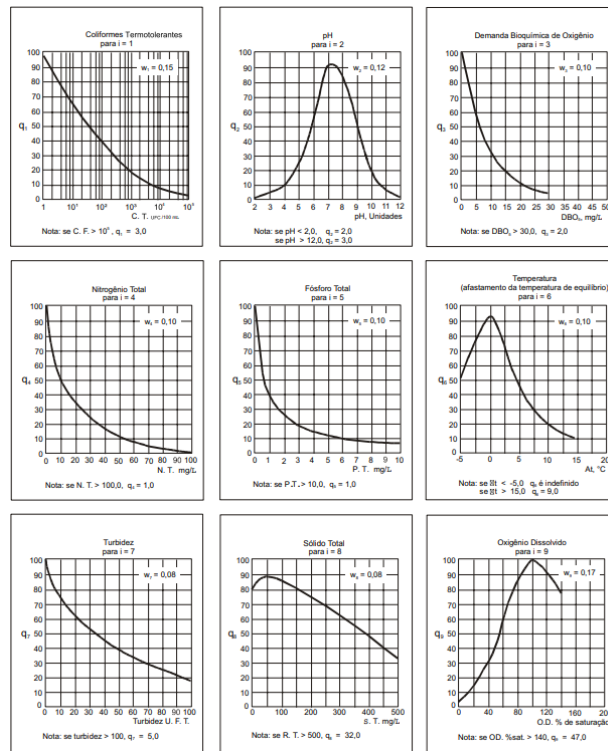
IQA = Índice de Qualidade das Águas. Um número entre 0 e 100;

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

$w_i$  = peso correspondente ao  $i$ -ésimo parâmetro fixado em função da sua importância para a conformação global da qualidade, isto é, um número entre 0 e 1. Sendo a soma de todos igual a 1.

Além do peso, cada parâmetro tem concentrações e medidas ótimas, que determinam sua qualidade, ou seja, são necessários gráficos para determinar o valor de qualidade ( $q$ ) para cada um dos parâmetros utilizados no cálculo do IQA (Figura 12).

Figura 12 - Curvas médias de variação de qualidade dos parâmetros usados no cálculo do IQA.



Fonte: CETESB (2021).

O valor de IQA varia de 0 a 100, e se encaixa em faixas de qualidade da água, apresentadas na Tabela 3 (ANA, 2022).

Tabela 3 - Faixas de IQA utilizadas nos diferentes estados brasileiros

Faixas de IQA utilizadas nos seguintes Estados: AL, MG, MT, PR, RJ, RN, RS	Faixas de IQA utilizadas nos seguintes Estados: BA, CE, ES, GO, MS, PB, PE, SP	Avaliação da Qualidade da Água
91-100	80-100	Ótima
71-90	52-79	Boa
51-70	37-51	Regular
26-50	20-36	Ruim
0-25	0-19	Péssima

Fonte: ANA.

Outro índice criado por um grupo técnico composto por integrantes da CETESB, SABESP, institutos de pesquisa e universidades é o Índice de Qualidade da Água Bruta para fins de Abastecimento Público (IAP). O IAP utiliza os parâmetros aplicados ao cálculo do IQA, mas também analisa substâncias tóxicas, incluindo teste de mutagenicidade, potencial de formação de trihalometanos, cádmio, chumbo, cromo total, mercúrio e níquel e parâmetros que afetam a qualidade organoléptica da água, como fenóis, ferro, manganês, alumínio, cobre e zinco, que não são investigados pelo IQA e que são usados para compor o Índice de Substâncias Tóxicas e Organolépticas (ISTO). Portanto, o IAP é calculado pela equação:  $IAP = IQA \times ISTO$ , e é usado em investigações mais aprofundadas da qualidade da água, porém por ser um método trabalhoso e de custo mais elevado tem sido menos aplicado na prática que o IQA (CETESB, 2020).

#### 3.4. CIANOBACTÉRIAS E SEUS IMPACTOS NA SAÚDE HUMANA

Segundo o Manual de Cianobactérias Planctônicas, as cianobactérias são organismos procariontes e podem ser filamentosas ou cocóides e apresentam alta tolerância às condições ambientais e climáticas, sendo encontradas na maioria dos ambientes aquáticos ou terrestres. O despejo de matéria orgânica na água, sendo de origem natural ou antropogênica, gera a eutrofização do corpo d'água, que por sua vez aumenta a ploriferação de organismos fitoplantônicos, causando o fenômeno conhecido como “bloom” ou floração. As florações são encontradas em dois tipos: as chamadas “scums”, ou natas, que apresentam alta concentração de clorofila-a e dura de poucas horas a alguns dias, tendo poucos milímetros de espessura, e as “hyperscums”, uma massa densa e flutuante variando de 50 a 75 cm de espessura, chegando a impedir a passagem de água pelas células, o que pode variar de semanas a muitos meses. A densidade excessiva de cianobactérias em águas utilizadas para consumo humano gera problemas sérios à saúde humana, pois as cianobactérias têm capacidade de gerar potentes toxinas, chamadas cianotoxinas. As florações também geram transtornos em estações de tratamento de esgoto, pois causam a perda de carga dos filtros e altera as propriedades organolépticas das águas pela produção de geosmina e MIB (2-metil-isoborneol), que são compostos metabólicos das cianobactérias (CARVALHO *et al*, 2013).



As cianotoxinas se distinguem em neurotoxinas, hepatotoxinas ou dermatotoxinas, sendo seus principais grupos dispostos no Quadro 1. A maior parte das cianotoxinas são endotoxinas, ou seja, são liberadas no ambiente com a lise da parede celular, por isso o uso de algicidas não deve ser feito em águas com florações ou suspeita de alta densidade de cianobactérias. As neurotoxinas são compostos alcalóides de ação rápida, que atuam no sistema nervoso e geram o bloqueio neuromuscular, tendo ação muito rápida, levando a morte em poucos minutos ou poucas horas, por parada respiratória. Entre as neurotoxinas tem-se as anatoxinas, as anatoxinas-a e as saxitoxinas. As hepatotoxinas causam a maior parte das contaminações e têm ação lenta, causando a morte em poucas horas ou poucos dias por conta de hemorragia hepática e choque hipovolêmico. Entre as hepatotoxinas tem-se as microcistinas, as nodularinas e cilindrospermopsinas. As dermatotoxinas são relacionadas a irritações na pele e alergias, geradas por lipopolissacarídeos (LPS), que são componentes da membrana celular das cianobactérias (CARVALHO *et al*, 2013).

As cianotoxinas são solúveis em água e passam pelo sistema de tratamento convencional, sendo inclusive resistente à fervura, representando um risco enorme para a saúde pública. Sendo assim, é imprescindível o monitoramento de cianobactérias tóxicas em águas destinadas ao consumo humano e à recreação, principalmente em águas que tenham indicativos de despejo excessivo de matéria orgânica, como esgoto in natura, tornando o ambiente propício à ploriferação de cianobactérias (CARVALHO *et al*, 2013).

Quadro 1 - Características gerais dos principais grupos de cianotoxinas, seu alvo primário em mamíferos e gêneros produtores.

Grupo de Toxina	Alvo primário em mamíferos	Gêneros de cianobactérias produtoras
Microcistinas	Fígado	<i>Dolichospermum (Anabaena)</i> , <i>Anabaenopsis</i> , <i>Aphanocapsa</i> , <i>Arthrospira</i> , <i>Hapalosiphon</i> , <i>Microcystis</i> , <i>Nostoc</i> , <i>Oscillatoria</i> , <i>Planktothrix</i> , <i>Radiocystis</i> , <i>Snowella</i> , <i>Woronichinia</i>
Nodularia	Fígado	<i>Nodularia</i>
Anatoxina-a, Homoanatoxina-a	Nervo Simpático	<i>Dolichospermum (Anabaena)</i> , <i>Aphanizomenon</i> , <i>Arthrospira</i> , <i>Cylindrospermum</i> , <i>Microcystis</i> , <i>Oscillatoria</i> , <i>Planktothrix</i> , <i>Phormidium</i> , <i>Raphidiopsis</i>
Anatoxina-a(S)	Nervo Simpático	<i>Dolichospermum (Anabaena)</i>
Aplisiotoxina, Debromoaplisiotoxina	Pele, trato gastrointestinal	<i>Lyngbya</i> , <i>Schizothrix</i> , <i>Planktothrix</i>
Cilindrospermopsinas	Orgãos múltiplos (fígado, rim, baço, trato gastrointestinal, coração, timo, pele)	<i>Dolichospermum (Anabaena)</i> , <i>Cylindrospermopsis</i> , <i>Aphanizomenon</i> , <i>Raphidiopsis</i> , <i>Umezakia</i>
Lyngbyatoxina-a	Pele, trato gastrointestinal	<i>Lyngbya</i>
Saxitoxinas	Nervo axônico	<i>Dolichospermum (Anabaena)</i> , <i>Aphanizomenon</i> , <i>Lyngbya</i> , <i>Cylindrospermopsis</i> , <i>Planktothrix</i>
Liopolissacarídeos (LPS)	Potencial irritante; afeta qualquer tecido exposto	Todos

Fonte: CETESB (2013).

No Brasil, a Portaria GM/MS N° 888, de 4 de maio de 2021 do Ministério da Saúde, dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Com relação ao controle de cianobactérias, a portaria explicita que se deve realizar a coleta de amostras para identificação e contagem de células de cianobactérias trimestralmente enquanto não forem encontrados valores de contagem acima de 10.000 células mL<sup>-1</sup>, nesse caso a frequência deve passar a ser semanal. Em complementação, deve-se realizar a análise de clorofila-a mensalmente como indicador de potencial aumento na contagem de cianobactérias. Quando os resultados de clorofila-a revelarem que sua concentração foi igual ou superior a 10 µg L<sup>-1</sup>, deve-se realizar nova coleta de amostra para

análise do fitoplâncton, e caso a quantidade de cianobactérias represente 10% ou mais do fitoplâncton a frequência de monitoramento deve passar a ser semanal. A análise de clorofila-a pode ser substituída pela de cianobactérias feita mensalmente, enquanto não forem encontrados valores de contagem acima de 10.000 células mL<sup>-1</sup>. Quando a contagem exceder valores acima de 20.000 células mL<sup>-1</sup> deve-se realizar análises das cianotoxinas microcistinas, Saxitoxinas e cilindrospermopsinas no ponto de captação com frequência no mínimo semanal, mantendo o monitoramento até que seja reduzido a contagem de cianobactérias para valores inferiores a 20.000 células mL<sup>-1</sup>. Alternativamente pode-se realizar análises semanais diretamente na água bruta (entrada da estação de tratamento de água – ETA).

Em caso de serem encontrados valores de cianotoxinas acima do Valor Máximo Permitido – VMP (Tabela 4) deve-se realizar análise na saída do tratamento semanalmente e se for detectado a presença dessas toxinas na água tratada é obrigatória a comunicação imediata a autoridade de saúde pública, às clínicas de hemodiálise e às indústrias de injetáveis. Em função do perigo representado pela cianotoxinas, a portaria veda o uso de algicidas para o controle do crescimento de microalgas e cianobactérias no manancial de abastecimento ou qualquer intervenção que possa provocar a lise das células e por consequência a liberação de cianotoxinas (BRASIL, 2021).

Tabela 4 - Valores Máximos Permitidos (VMP) de cianotoxinas na água para consumo humano.

Parâmetro	Unidade	VMP
Cilindrospermopsinas	µg L <sup>-1</sup>	1,0
Microcistina	µg L <sup>-1</sup>	1,0
Saxitoxinas	µg L <sup>-1</sup>	3,0

Fonte: Brasil (2021).

### 3.5. BALNEABILIDADE DE ÁGUAS DESTINADAS A RECREAÇÃO

A balneabilidade é a qualidade das águas destinadas à recreação de contato primário, em que ocorre contato direto e prolongado com a água e na qual a possibilidade do banhista

ingerir é alta, sendo um aspecto de alta importância em locais em que há um alto fluxo de turistas (CETESB, 2020).

No Brasil, a Resolução CONAMA 274/2000 determina padrões de balneabilidade para águas doces, sendo os corpos d'água classificados como impróprios ou próprios. Quando considerado próprio, o corpo d'água é classificado como:

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

O trecho será considerado impróprio quando:

1. Não atender os critérios estabelecidos para águas próprias.
2. Quando o valor obtido na última amostragem for superior a 2500 UFC de coliformes fecais (termotolerantes) ou 2000 UFC de *Escherichia coli* a cada 100 mL.
3. Incidência elevada ou anormal, na região, de enfermidades transmissíveis por via hídrica, indicada pelas autoridades sanitárias.
4. Presença de resíduos ou despejos, sólidos ou líquidos, inclusive esgotos sanitários, óleos, graxas e outras substâncias, capazes de oferecer riscos à saúde ou tornar desagradável a recreação.
5. Apresentar valores de pH < 6,0 ou pH > 9,0, à exceção das condições naturais.
6. Floração de algas ou outros organismos, até que se comprove que não oferecem riscos à saúde humana.
7. Outros fatores que contra-indiquem, temporária ou permanentemente, o exercício da recreação de contato primário.

Apesar de considerar impróprias as águas que apresentem florações de organismos e cianobactérias, a resolução CONAMA 274/2000 não determina valores máximos de quantidade de cianobactérias e cianotoxinas, sendo a inspeção visual o único fator para determinar o corpo d'água como próprio ou não, o que não oferece garantias de segurança para população, já que dependendo da espécie de cianobactérias, mesmo em quantidade acima de 10.000 células mL<sup>-1</sup> a água não apresenta alteração de coloração ou formação de espumas.

O Manual de Cianobactérias Planctônicas utiliza como referência os dados do World Health Organization (WHO) para a quantidade de cianobactérias e cianotoxinas (Tabela 5).

Tabela 5 - Probabilidade de efeitos adversos à saúde causado por cianotoxinas.

<b>Nível de Vigilância</b>	
<b>Baixa – Nível 1</b>	
Microcistina ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	2-4
Clorofila-a ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	10
Células de cianobactérias	20.000
Riscos à saúde	Efeitos adversos agudos (ex. irritações da pele e sintomas gastrointestinais) são pouco prováveis
Ações Recomendadas	Sinalização e informação às autoridades pertinentes
<b>Moderada – Nível 2</b>	
Microcistina ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	20
Clorofila-a ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	50
Células de cianobactérias	100.000
Riscos à saúde	Efeitos adversos agudos resultam em irritações na pele e sintomas gastrointestinais em baixas frequências; potencial para efeitos crônicos, quando algumas espécies estão presentes.
Ações Típicas	Procurar natas, restringir banhos, sinalizar o local, alertando para riscos moderados, informar autoridades locais e posteriormente investigar os perigos.
<b>Alta – Nível 3</b>	
Microcistina ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Não determinado
Clorofila-a ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Não determinado
Células de cianobactérias	Nata, milhões de células
Riscos à saúde	Potencial para envenenamentos agudos severos; potencial para enfermidades crônicas, dependendo da espécie presente; efeitos adversos agudos: irritações cutâneas e enfermidades gastrintestinais
Ações Recomendadas	Ações imediatas para prevenir contato com nata, sinalizar o local, alertando para riscos altos, informar às autoridades locais.

Fonte: WHO (2003).

### 3.6. A BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE PLANEJAMENTO

A bacia hidrográfica é definida como o conjunto de terras drenadas por um rio principal, seus afluentes e subafluentes, delimitada por divisores de água, que correspondem às partes mais altas do relevo, a partir dos quais toda a água da chuva escoará superficialmente até atingirem os corpos d'água, ou infiltrarão no solo para formação de nascentes e de aquíferos. As águas superficiais escoam para as partes mais baixas do terreno, formando rios, e nas cabeceiras das bacias são formados os riachos, que brotam em terrenos íngremes das serras e montanhas e à medida que as águas dos riachos descem, juntam-se a outros riachos, aumentando o volume e formando os primeiros rios, esses pequenos rios continuam seus trajetos recebendo água de outros tributários, formando rios maiores até atingirem o exutório da bacia e desembocarem no oceano.

Do ponto de vista prático, as bacias hidrográficas podem abranger diversos municípios e, às vezes, diferentes estados, tornando sua gestão mais complexa e, dessa forma, as bacias são divididas em áreas menores chamadas sub-bacias e microbacias, na literatura ambos os termos não apresentam uma convergência conceitual tão bem estabelecida como a de bacia hidrográfica (BARELLA, 2001).

As sub-bacias são áreas de drenagem dos tributários do curso d'água principal, mas não existe consenso na literatura para a definição de suas áreas, sendo que, para Santana (2004), as bacias podem ser desmembradas em diversas sub-bacias, dependendo do ponto de saída, considerado ao longo do seu eixo-tronco ou canal coletor. Cada bacia hidrográfica interliga-se com outra de ordem hierárquica superior, constituindo, em relação à última, uma sub-bacia. O termo microbacia, é comumente utilizado para dividir uma bacia, assim como o termo sub-bacia, também não havendo consenso em sua definição e delimitação, sendo sugerido por Santana (2003), que o termo microbacia seja substituído por sub-bacia hidrográfica.

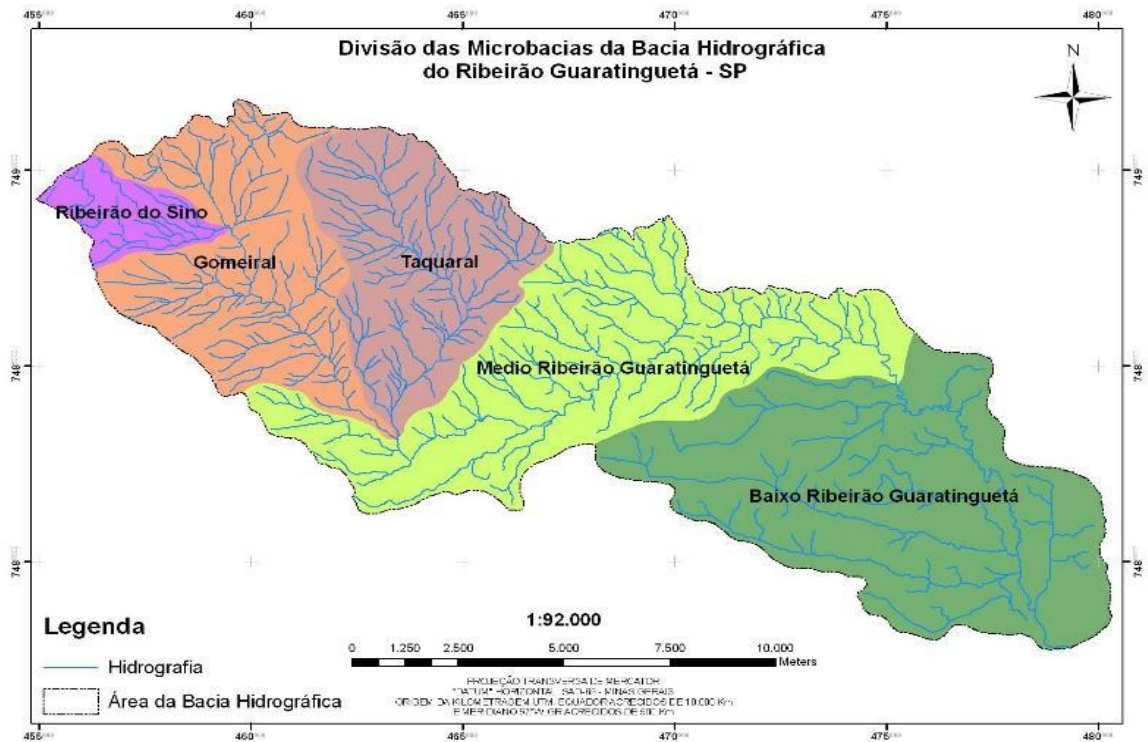
## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O ribeirão Guaratinguetá é um dos principais afluentes da margem esquerda do rio Paraíba do Sul e é responsável por cerca de 95% do abastecimento de água do município de Guaratinguetá, que conta com uma população estimada de 123.192 habitantes (IBGE, 2021).

A captação, o tratamento e a distribuição da água tratada são realizados pela Companhia de Serviço de Água, Esgoto e Resíduos de Guaratinguetá – SAEG. A bacia do ribeirão Guaratinguetá localiza-se na região norte do município, e seus principais afluentes à montante são os ribeirões Taquaral, Gomeiral e do Sino e à jusante, em área de várzea, encontra-se o ribeirão Guaratinguetá (Figura 13).

Figura 13 - Bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá.

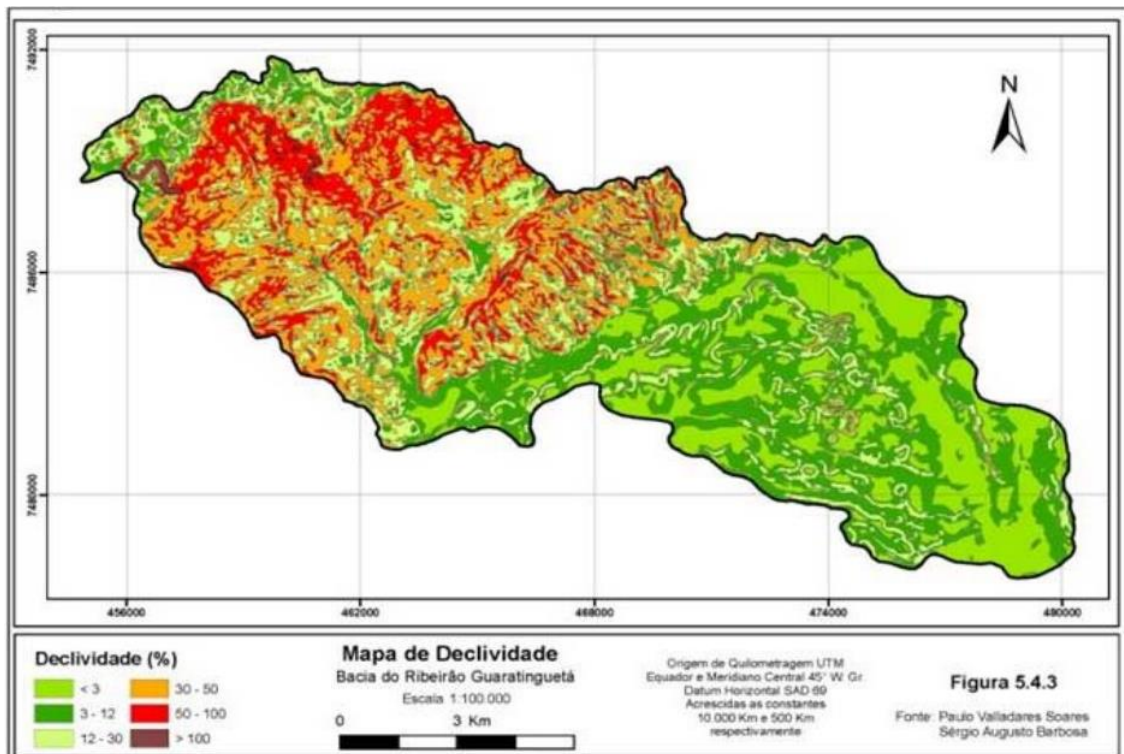


Fonte: Ferreira *et al* (2011).

De acordo com a Resolução CONAMA 357/2005, as águas desta bacia estão enquadradas como Classe 1, das nascentes até a confluência dos ribeirões Gomeral e Taquaral, e Classe 2 a partir desta confluência, da qual se origina o ribeirão Guaratinguetá, até sua foz, no Rio Paraíba do Sul.

A bacia do ribeirão Guaratinguetá está localizada na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 02 (UGRHI 02), sendo uma sub-bacia da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul em seu trecho paulista, nesta área também atua o Comitê das Bacias Hidrográficas do Rio Paraíba do Sul (CBH-PS). A bacia apresenta uma grande variedade de relevos e altitudes, entre 550 a 2000 metros (Figura 14), com diferentes classes de solo (Figura 15), cada um adequado a um tipo de uso e ocupação. Essa diversidade topográfica e de classes de solo gera, por consequência, uma heterogeneidade de cobertura vegetal e de ocupação humana.

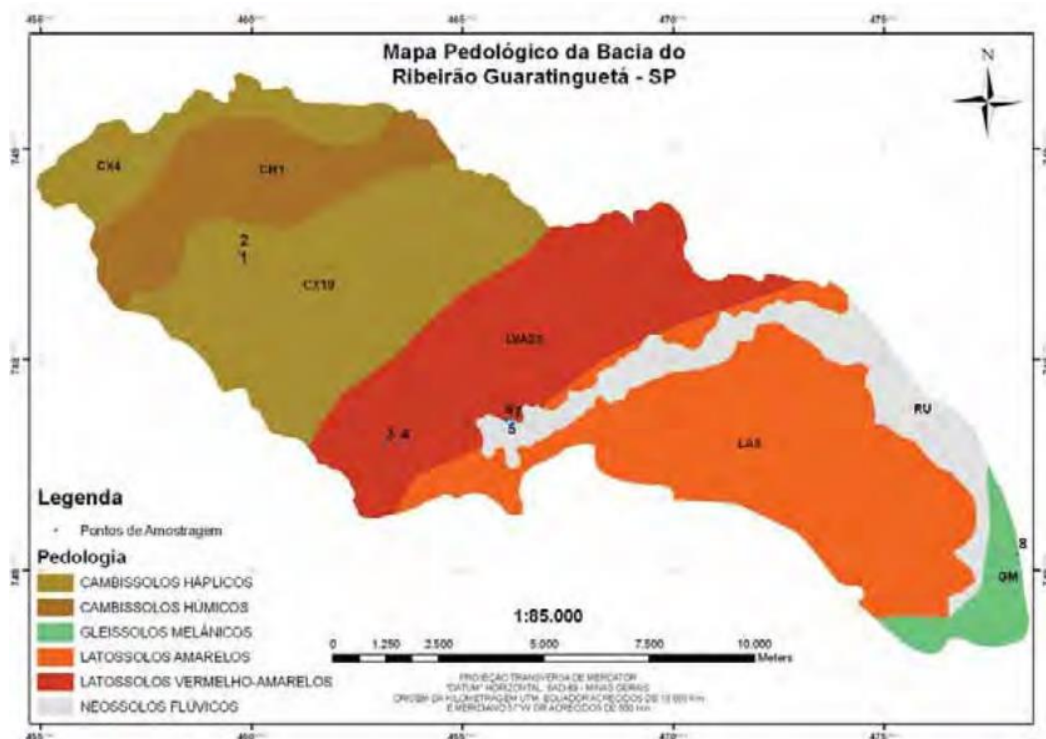
Figura 14 - Classes de solos da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá.



Fonte: Ferreira *et al* (2011).



Figura 15 - Mapa de declividade da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá.



Fonte: Ferreira *et al* (2011).

O Programa Produtor de Água foi implementado na bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá, por tratar-se do principal manancial de abastecimento público do município. A importância socioambiental desta bacia hidrográfica tem gerado muitos projetos de pesquisa e extensão voltados à preservação dos recursos naturais, cujos resultados têm subsidiado as ações das políticas públicas. Entre estes, destaca-se o projeto “revitalização fluvial utilizando os princípios e técnicas da Ecohidrologia e da Geotecnia – O ribeirão Guaratinguetá, Bacia do Rio Paraíba do Sul” realizado pela parceria da FEG/UNESP e Prefeitura de Guaratinguetá – Contrato SLC 006/10, sob a coordenação da professora Isabel Trannin – DEC/FEG, que gerou informações relevantes para a efetivação da revitalização desta bacia.

De acordo com as informações da Prefeitura de Guaratinguetá (2020), o Programa Produtor de Água, desenvolvido e executado pela Secretaria da Agricultura de Guaratinguetá desde o ano de 2012 tem realizado ações fundamentais de incentivo aos produtores rurais, preservação e tratamento dos mananciais que abastecem o município e já recuperou 54 nascentes, instalou 67 fossas sépticas e realizou o plantio de 73.635 mudas.

No projeto de revitalização, Ferreira *et al* (2011), utilizando ferramentas do Sistema de Informações Geográficas (SIG), verificaram que a bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá apresenta classes de uso do solo bem distribuídas, sendo maiores as áreas ocupadas com pastagem (54%) do que as ocupadas com florestas (36%). Além disso, relataram que, de todas as Áreas de Preservação Permanente (APPs), 56,15% estavam sendo explorados de forma indevida, principalmente por pastagens e atividades agrícolas, que não atendiam ao que estabelece a legislação vigente e que precisavam de medidas corretivas urgentes.

Faria (2012) verificaram que a rizicultura irrigada e a pecuária eram as atividades responsáveis pelos teores de nitrogênio e fósforo acima dos padrões da CONAMA 357/05, para rios de classe 2, no médio e baixo curso da bacia do ribeirão Guaratinguetá. As atividades turísticas, no alto curso (rio classe 1) e as manchas urbanas, próximas ao leito do ribeirão (rio classe 2), mantiveram os valores de DBO<sub>5,20</sub> acima dos padrões estabelecidos pela CONAMA 357/05. Ainda neste estudo de Faria (2012), o cálculo do Índice de Qualidade da Água (IQA) indicou trechos no médio e baixo curso de qualidade regular das águas do ribeirão Guaratinguetá, relacionados ao uso e ocupação do solo pela rizicultura irrigada, pecuária extensiva e manchas urbanas. E, com a interpolação em SIG, a partir de dados pontuais, foi possível obter uma leitura global acerca dos parâmetros de qualidade da água interpolados (ferro total, nitrogênio total, fósforo total, DBO<sub>5,20</sub> e coliformes fecais), para subsidiar as políticas públicas na adoção de medidas relacionadas ao gerenciamento de recursos hídricos desta bacia hidrográfica.

#### 4.2. INFLUÊNCIA DO USO DO SOLO NA QUALIDADE DAS ÁGUAS DA BACIA ESTUDADA

Segundo a Secretária de Turismo de Guaratinguetá outra importante atividade econômica no município é o turismo, principalmente o turismo religioso, cultural, rural, e o ecoturismo, sendo estes dois últimos juntos responsáveis pela segunda maior parcela do movimento turístico na região.

O turismo rural ou ecoturismo tem se desenvolvido mais intensamente nos últimos anos devido à descoberta da riqueza dos recursos naturais da zona rural do município. Entre os

destinos mais procurados, destacam-se os bairros do Gomerl e Pedrinhas (na bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá), Colônia do Piaguí e Rocinha.

Na bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá, observamos uma transformação do espaço rural. De acordo com o trabalho de Trannin e Nadur (2021), muitos empreendimentos têm sido implementados nos últimos anos, buscando melhorar a infraestrutura hoteleira e gastronômica, além das muitas residências unifamiliares estabelecidas na bacia, a maioria deles sem tratamento adequado de esgoto.

Segundo dados disponibilizados pela prefeitura municipal, na bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá existe um hotel, cinco pousadas e seis restaurantes distribuídos entre as regiões do Gomerl, Pedrinhas e Taquaral. Existem também empresas de ecoturismo que promovem passeios na região e aumentam o fluxo de pessoas na bacia, entre elas podemos citar a Ecovaletur, que promove passeios pelo Gomerl, em seu site é possível encontrar passeios pelas cachoeiras da região, na Pedra Grande do Gomerl e no Vale Encantado do Gomerl, e a Biotrip que oferece viagens ao Vale Encantado do Gomerl.

O bairro Gomerl recebeu em torno de 4000 visitantes por mês em 2018 segundo dados da Secretária de Turismo de Guaratinguetá, atraídos pelo típico clima de região serrana, com morros, colinas e rica hidrografia, da Serra da Mantiqueira, que disponibiliza vários atrativos ecológicos e turísticos.

Essas características da zona rural de Guaratinguetá atraem turistas e geram a movimentação da economia no município. Por outro lado, essas atividades relacionadas ao turismo, devem ser desenvolvidas de forma segura, considerando a necessidade de saneamento básico adequado para evitar os impactos sobre os recursos naturais da bacia, relacionados ao lançamento inadequado de esgoto bruto nos corpos d'água, descarte incorreto dos resíduos sólidos, que poluem o ambiente e comprometem diretamente a qualidade de vida dos moradores da comunidade da bacia e indiretamente toda a população do município, que é abastecida pelo ribeirão Guaratinguetá.

#### 4.3. ANÁLISE TEMPORAL DA QUALIDADE DA ÁGUA DA BACIA

Os parâmetros de qualidade de água foram retirados do portal Infoaguas disponibilizado pela CETESB. No portal é possível obter os valores de diversos parâmetros que caracterizam a

água e sua qualidade em diversos pontos de monitoramento pelo Brasil, entre eles os dados para o cálculo do IQA. Foi buscado na seção de águas superficiais, o ponto de monitoramento de captação de água da SAEG no ribeirão Guaratinguetá/SP, que é representado pelo código GUAT02800.

Os dados de qualidade de água do ponto GUAT02800 foram extraídos do site em formato editável pelo software Microsoft Excel. A partir deles, os parâmetros de qualidade da água que são utilizados no IQA foram processados e classificados por data de amostragem, indicando se houve ou não chuva nas últimas 24 horas. Em seguida foi calculado o valor do IQA para cada uma das amostras. Os parâmetros foram então analisados um a um para se determinar a evolução deles no período de 2010 a 2021 e foram comparados com as análises de Branco (2014), Colli *et al* (2020), Ferreira *et al* (2011) e Faria (2012). Então, foi traçado paralelos entre o que foi observado por eles e os dados obtidos na bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá, buscando mecanismos que pudessem explicar os fenômenos que ocorreram na bacia.

Com os dados, referências e caracterização da área de estudo, foi possível avaliar o panorama da qualidade da água da bacia nos últimos dez anos e qual foi o impacto do Programa Produtor de Água, sendo possível disponibilizar dados e conclusões que viabilizem novas políticas públicas.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 6 são apresentados os parâmetros de qualidade da água disponibilizados pelo Sistema Infoáguas da CETESB e os cálculos de IQA para o período de 2010 até 2021.

Tabela 6 - Série histórica (2010 a 2021) de parâmetros de qualidade da água\* e IQA do ponto de monitoramento de captação de água da SAEG no ribeirão Guaratinguetá/SP.

(continua)

DATA	OD mg L <sup>-1</sup>	T °C	<i>E. coli</i> UFC/100mL	pH	DBO <sub>5,20</sub> mg L <sup>-1</sup>	N Total mg L <sup>-1</sup>	P Total mg L <sup>-1</sup>	Turbide z NTU	RT mg L <sup>-1</sup>	Chuva 24h	IQA
<b>CONAMA 357/2005**</b>	≥ 5	-	≤ 1000	6 a 9	≤ 5	***	≤ 0,1	≤ 100	≤ 500		
23/02/2010	6,70	26,00	1440	6,35	3,00	0,77	0,040	42,00	50,00	Não	64
22/04/2010	6,40	22,00	440	6,40	2,00	0,59	0,020	13,00	50,00	Não	71
16/06/2010	8,90	14,00	100	7,50	2,00	0,60	0,050	6,10	50,00	Não	79
11/08/2010	7,60	19,00	136	7,55	2,00	0,61	0,040	5,20	50,00	Não	71
20/10/2010	7,70	20,00	980	7,01	2,00	0,61	ND	18,00	50,00	Não	ND
01/12/2010	7,10	25,00	960	6,82	2,00	0,80	0,020	24,00	56,00	Sim	69
16/02/2011	7,10	24,00	920	6,90	4,00	0,61	0,040	22,00	50,00	Não	68
06/04/2011	7,30	21,00	1080	6,60	2,00	0,61	0,040	36,00	72,00	Sim	67
15/06/2011	8,90	17,00	480	6,70	2,00	0,61	0,050	11,00	50,00	Não	73
10/08/2011	8,00	21,00	10400	6,40	6,00	0,61	0,019	7,80	50,00	Não	59
26/10/2011	7,00	25,00	1880	6,90	2,00	0,61	0,015	3,70	50,00	Não	70
07/12/2011	6,80	23,00	780000	7,50	3,00	0,65	0,026	466,00	270,00	Sim	41
29/02/2012	6,80	27,20	700	6,90	2,00	0,61	0,007	10,00	50,00	Não	73
25/04/2012	7,40	22,50	920	7,00	5,00	0,61	0,009	5,70	50,00	Não	70
27/06/2012	8,20	18,30	700	7,00	2,00	0,61	0,027	9,60	50,00	Não	73
22/08/2012	8,20	19,00	224	6,70	2,00	0,61	0,008	3,80	78,00	Não	77
24/10/2012	7,20	25,00	2700	6,90	2,00	0,61	0,007	5,00	50,00	Sim	68
12/12/2012	6,60	26,00	2300	6,90	3,00	0,61	0,025	18,00	50,00	Sim	66
20/02/2013	6,00	22,00	38000	6,40	5,00	0,98	0,034	198,00	174,00	Sim	48
24/04/2013	8,00	19,00	640	7,10	6,00	0,61	0,021	15,00	74,00	Não	69
12/06/2013	8,20	20,00	224	7,00	3,00	0,61	0,020	9,00	50,00	Sim	76
21/08/2013	8,50	18,00	780	7,10	4,00	0,61	0,020	4,00	50,00	Não	72
23/10/2013	6,90	25,00	1200	7,00	3,00	0,61	0,012	42,00	50,00	Não	66
11/12/2013	6,80	24,00	8600	6,70	5,00	0,61	0,340	178,00	286,00	Sim	43
18/02/2014	6,90	25,00	7800	7,20	3,00	0,72	0,020	68,00	168,00	Não	57
23/04/2014	9,00	23,00	440	7,10	3,00	0,96	0,020	9,00	50,00	Não	73
25/06/2014	8,10	16,00	124	6,70	3,00	0,80	0,020	4,00	50,00	Não	77
27/08/2014	8,10	20,00	140	7,00	3,00	0,80	0,020	6,00	50,00	Sim	78
22/10/2014	8,10	25,00	500	6,50	3,00	0,80	0,020	5,00	50,00	Não	73
10/12/2014	6,40	25,00	900	7,20	3,00	2,55	0,020	16,00	50,00	Sim	68
25/02/2015	7,20	24,00	1380	7,00	3,00	0,80	0,020	8,00	50,00	Não	69
29/04/2015	8,00	23,00	740	6,90	3,00	1,02	0,020	10,00	50,00	Sim	72
24/06/2015	8,50	18,00	440	7,00	3,00	0,61	0,020	4,00	50,00	Sim	74
26/08/2015	8,10	18,00	5300	7,20	3,00	0,68	0,033	22,00	50,00	Sim	63
28/10/2015	6,80	24,00	4400	7,40	3,00	0,61	0,022	6,00	50,00	Sim	65
14/12/2015	6,40	24,00	5300	7,20	3,00	0,61	0,044	64,00	282,00	Sim	57

\*OD = Oxigênio dissolvido; T= temperatura; *E. coli* = *Escherichia coli*; DBO<sub>5,20</sub>=Demanda Bioquímica de Oxigênio; N Total = Nitrogênio Total (N-Kjeldahl + N-Nítrico + N-Nitrato); P Total = Fósforo Total; RT = Resíduo Total; Chuva 24h = registro de chuvas nas últimas 24 horas da amostragem; IQA = Índice de Qualidade de águas. ND = Não determinado. \*\* Resolução CONAMA 357/2005: Padrões de qualidade para rios de Classe 2. \*\*\* N total depende do valor do pH, em rios de Classe 2 deve ser de até: (a) 3,7 mg l<sup>-1</sup> N para pH ≤ 7,5; (b) 2,0 mg l<sup>-1</sup> N para 7,5 < pH ≤ 8,0; (c) 1,0 mg l<sup>-1</sup> N para 8,0 < pH ≤ 8,5; (d) 0,5 mg l<sup>-1</sup> N para pH > 8,5.

Tabela 6 – Série histórica (2010 a 2021) de parâmetros de qualidade da água\* e IQA do ponto de monitoramento de captação de água da SAEG no ribeirão Guaratinguetá/SP (cont.)

(conclusão)

DATA	OD mg L <sup>-1</sup>	T °C	<i>E. coli</i> UFC/100mL	pH	DBO <sub>5,20</sub> mg L <sup>-1</sup>	N Total mg L <sup>-1</sup>	P Total mg L <sup>-1</sup>	Turbidez NTU	RT mg L <sup>-1</sup>	Chuva 24h	IQA
<b>CONAMA 357/2005**</b>	≥ 5	-	≤ 1000	6 a 9	≤ 5	***	≤ 0,1	≤ 100	≤ 500		
24/02/2016	7,40	23,00	26400	6,90	3,00	0,80	0,020	22,00	50,00	Sim	57
27/04/2016	8,40	22,00	820	7,00	3,00	0,61	0,020	8,00	50,00	Sim	72
29/06/2016	8,90	17,00	760	7,20	3,00	0,61	0,020	4,00	52,00	Não	73
24/08/2016	7,30	18,00	520	7,00	3,00	0,61	0,020	3,20	94,00	Sim	73
26/10/2016	7,50	24,00	520	7,20	3,00	0,61	0,020	5,00	50,00	Sim	74
15/02/2017	6,90	26,00	440	7,20	3,00	0,71	0,020	11,00	50,00	Não	73
10/04/2017	6,80	24,00	1860	7,10	4,00	0,70	0,020	32,00	50,00	Sim	65
28/06/2017	7,60	17,00	204	6,60	3,00	0,70	0,020	2,00	50,00	Sim	75
23/08/2017	7,90	18,00	1220	6,70	3,00	0,71	0,026	8,00	50,00	Sim	69
09/10/2017	7,00	24,00	560	6,70	3,00	0,97	0,020	4,00	50,00	Não	72
13/12/2017	7,20	24,00	600	7,10	3,00	0,70	0,021	4,00	50,00	Sim	73
28/02/2018	7,80	23,00	1020	6,70	3,00	ND	0,040	31,00	50,00	Sim	ND
11/04/2018	6,40	23,00	920	7,00	3,00	2,56	0,024	21,00	50,00	Não	67
20/06/2018	8,00	18,00	660	7,40	3,00	0,80	0,040	5,00	50,00	Não	72
29/08/2018	7,50	20,00	244	6,60	3,00	ND	0,030	5,00	50,00	Não	73
24/10/2018	6,50	23,00	620	7,00	3,00	3,84	0,020	6,00	50,00	Sim	70
12/12/2018	7,00	24,00	244	6,90	3,00	0,80	0,030	10,00	50,00	Sim	74
20/02/2019	7,90	23,00	324	7,00	3,00	4,10	0,040	26,00	50,00	Sim	70
24/04/2019	6,80	23,00	20000	6,90	6,00	0,90	0,110	278,00	88,00	Sim	44
26/06/2019	7,70	20,00	960	7,10	3,00	0,80	0,020	5,00	50,00	Não	71
21/08/2019	8,60	18,00	184	7,00	3,00	0,80	0,020	10,00	50,00	Sim	76
23/10/2019	7,00	21,00	820	6,70	3,00	0,80	0,020	8,00	50,00	Sim	70
11/12/2019	7,80	23,00	3200	6,20	3,00	0,80	0,020	41,00	50,00	Sim	61
19/02/2020	6,00	24,00	3000	7,20	3,00	0,93	0,020	89,00	76,00	Sim	58
03/11/2020	7,10	20,00	348	6,80	3,00	2,84	0,020	22,00	50,00	Não	70
01/12/2020	6,80	26,00	5300	6,70	ND	1,13	0,039	9,32	50,00	Sim	ND
17/02/2021	6,20	24,00	6200	6,60	3,00	0,81	0,040	44,00	80,00	Sim	58
09/06/2021	7,00	20,00	960	6,70	3,00	0,79	0,020	15,00	50,00	Sim	68
11/08/2021	8,30	17,00	560	6,60	3,00	0,70	0,020	11,00	50,00	Não	71
23/11/2021	7,90	24,00	480	6,80	3,00	1,12	0,020	23,00	50,00	Não	71

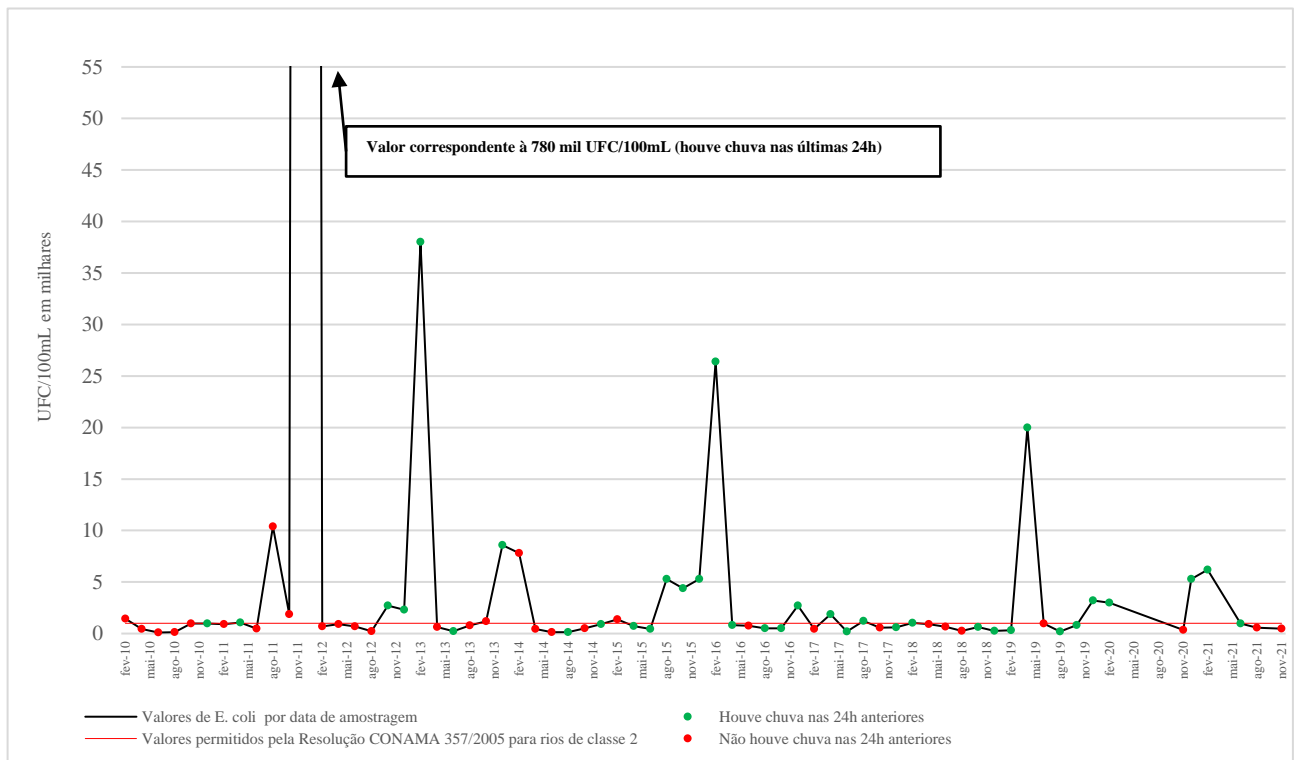
\*OD = Oxigênio dissolvido; T= temperatura; *E. coli* = *Escherichia coli*; DBO<sub>5,20</sub>=Demanda Bioquímica de Oxigênio; N Total = Nitrogênio Total (N-Kjeldahl + N-Nítrico + N-Nitrato); P Total = Fósforo Total; RT = Resíduo Total; Chuva 24h = registro de chuvas nas últimas 24 horas da amostragem; IQA = Índice de Qualidade de águas. ND = Não determinado. \*\* Resolução CONAMA 357/2005: Padrões de qualidade para rios de Classe 2. \*\*\* N total depende do valor do pH, em rios de Classe 2 deve ser de até: (a) 3,7 mg l<sup>-1</sup> N para pH ≤ 7,5; (b) 2,0 mg l<sup>-1</sup> N para 7,5 < pH ≤ 8,0; (c) 1,0 mg l<sup>-1</sup> N para 8,0 < pH ≤ 8,5; (d) 0,5 mg l<sup>-1</sup> N para pH > 8,5.

Fonte: Autor.

Analisando a série histórica do ponto de captação da SAEG, verificou-se que mesmo com a implementação do Programa Produtor de Água em 2011 e a constante e crescente instalação de fossas sépticas biodigestoras, o que, certamente contribuiu para a diminuição de poluentes oriundos de esgoto doméstico de propriedades rurais, houve uma redução na qualidade da água do ribeirão Guaratinguetá. Este resultado pode ser explicado pelo fato de que embora os valores de IQA correspondam à água de boa qualidade, ocorreu um aumento

significativo de coliformes fecais, representados por *Escherichia coli*, que de 100 e 960 UFC 100 mL<sup>-1</sup> nos períodos de estiagem e chuvoso de 2010 (Figura 16), respectivamente, atingiu 5300 e 6200 UFC 100 mL<sup>-1</sup> nos períodos chuvosos de 2020 e 2021, além de outros picos preocupantes que não atenderam ao padrão de qualidade estabelecido para rios de classe 2 pela Resolução Conama n° 357/2005, cujo limite é de até 1000 UFC mL<sup>-1</sup>.

Figura 16 - Valores de *E. coli* por data de amostragem (2010 a 2021) do ponto de monitoramento de captação de água da SAEG no ribeirão Guaratinguetá/SP (cont.)



Fonte: Autor

Este aumento de *E. coli* observado nos últimos anos é indicativo de lançamento de esgoto doméstico sem tratamento no ribeirão, o que também contribuiu para a diminuição do Oxigênio Dissolvido (OD) e para o aumento da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO<sub>5,20</sub>), embora estes parâmetros, assim como os demais que compõem o IQA foram mantidos dentro dos padrões estabelecidos pela Resolução Conama n° 357/2005.

De acordo com Trannin e Nadur (2021), embora o Programa Produtor de Água tenha contemplado os produtores rurais com a instalação de fossas sépticas biodigestoras, esta bacia

vem passando por uma intensa transformação do ambiente rural nos últimos anos, com o aumento de atividades turísticas e o estabelecimento de pousadas, restaurantes e muitas residências unifamiliares, a maioria sem tratamento adequado do esgoto, fator que aumenta o despejo de esgoto doméstico e, por consequência, a quantidade de *E. coli* nas águas da bacia do ribeirão Guaratinguetá. Os autores destacam a necessidade de conscientização ambiental e de difusão de técnicas de tratamento de esgoto, o que poderá beneficiar esta comunidade e toda a população do município, pela melhoria da qualidade da água de abastecimento público.

Avaliando os parâmetros isoladamente, temos que os valores de pH, OD e RT se mantiveram dentro dos padrões de qualidade estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para rios de Classe 2, enquanto que NT, PT, Turbidez e DBO<sub>5,20</sub> também permaneceram dentro dos padrões, com exceção dos períodos chuvosos no fim de 2011 e começo de 2012, fim de 2013 e começo de 2014 e no fim de 2018 e fim de 2019.

O aumento da DBO<sub>5,20</sub> e da turbidez no período chuvoso também foi verificado por Colli *et al* (2020), que indicaram o escoamento superficial e a drenagem pluvial, como mecanismos responsáveis pelo arraste de resíduos agrícolas para as águas superficiais da bacia hidrográfica do córrego Água Comprida em Barra Mansa (RJ), o que também deve ter causado o aumento de NT e de PT na bacia do Ribeirão Guaratinguetá nos períodos chuvosos.

A presença de *E. coli* acima do padrão de qualidade para rios de classe 2, alcançou valores dezenas de vezes superiores em alguns períodos o que é um fator de grande preocupação, tendo em vista que se trata de agentes patogênicos.

Faria (2012) verificaram que os valores de NT e PT estavam acima do padrão de qualidade devido às atividades de rizicultura e pecuária extensiva na bacia. No entanto, os resultados das análises no período de 2010 a 2021, estes parâmetros não se apresentaram em desacordo à Resolução CONAMA nº 357/2005, indicando que as políticas públicas adotadas pelo Programa Produtor de Água, com a recomposição vegetal de áreas de preservação permanente e a instalação de fossas sépticas biodigestoras em propriedades rurais está gerando resultados positivos na preservação dos recursos hídricos da bacia.

Os resultados apresentados da série histórica também indicam que, embora o IQA seja considerado uma ferramenta importante para viabilizar o monitoramento da qualidade das águas superficiais em grande escala, deve ser utilizado com cautela, já que embora apresente valores indicativos de uma água de boa qualidade, ele mascara a quantidade preocupante de *E.*



*coli* no corpo d'água e não leva em consideração outros parâmetros importantes, como metais pesados, cianobactérias e toxinas.

Diante do cenário observado e visando aumentar a segurança da saúde pública, com a melhoria da qualidade da água de abastecimento do município, a partir de 2021, a SAEG passou a monitorar a ocorrência de cianobactérias planctônicas, que causam intoxicação humana (CETESB, 2013). Na Tabela 5 são apresentados os resultados obtidos na análise de parâmetros biológicos monitorados no ponto de captação de água da SAEG no ribeirão Guaratinguetá.

Os dados da SAEG (Tabelas 7 e 8) mostram um aumento na densidade de cianobactérias a partir do mês de julho de 2021 com um pico em janeiro de 2022, ultrapassando 1200 células mL<sup>-1</sup>. As cianobactérias detectadas são das espécies *Microcystis sp*, *Aphanizomenon sp* e *Oscillatoria sp*, sendo que a última ocorreu apenas em setembro de 2021. Essas espécies são capazes de secretar cianotoxinas que prejudicam a saúde humana, mas a quantidade de cianobactérias representa um risco baixo segundo parâmetros especificados pelo Manual de Cianobactérias Planctônicas (CETESB, 2013). Não foram detectados valores acima de 0,3 µg L<sup>-1</sup> de Microcistina, nem acima de 3 células mL<sup>-1</sup> de qualquer outra das cianobactérias analisada. Dessa forma as cianobactérias estão bem controladas nas águas da bacia hidrográfica do Ribeirão Guaratinguetá.

O crescimento de cianobactérias entre o final de 2021 e início de 2022 indica aumento no lançamento de esgoto sem tratamento no corpo d'água, sendo verificados altos valores de *E. coli* nas análises feitas pela SAEG, atingindo níveis extremamente preocupantes, acima de 20.000 NMP 100 mL<sup>-1</sup>. Esses valores tornam a água imprópria tanto para consumo, quanto para balneabilidade, o que é preocupante dado o grande número de turistas que visitam a região e usam as águas desta bacia para recreação.

Tabela 7 - Parâmetros biológicos da água do ponto de monitoramento de captação da SAEG no ribeirão Guaratinguetá em 2021.

(continua)

Parâmetro	Datas de Amostragem/Análise											
	05/01	04/02	16/03	08/04	11/05	23/06	20/07	19/08	23/09	21/10	12/11	16/12
Chuva 24h	Não	Não	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Sim
<i>E. coli</i> , NMP 100 mL <sup>-1</sup>	730	20000	2000	490	< 1	1000	< 1	< 1	< 1,8	1200	< 1	410
Parâmetro	07/01	16/02	19/03	13/04	11/05	-	13/07	12/08	16/09	-	12/11	09/12
Chuva 24h	Sim	Não	Sim	Sim	Não	-	Não	Não	Não	-	Não	Não
Microcistina, µg/L <sup>-1</sup>	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30	-	< 0,30	< 0,30	< 0,30	-	< 0,30	< 0,30
Parâmetro	----- Células mL <sup>-1</sup> -----											
<i>Anabaena sp.</i>	< 3,00	< 3,00	< 3,00	< 3,00	-	-	< 3,00	< 3,00	< 3,00	-	-	< 3,00
<i>Aphanizomenon sp.</i>	89,28	< 3,00	98,28	< 3,00	-	-	658,44	273,42	89,28	-	-	< 3,00
<i>Aphanocapsa sp.</i>	< 3,00	< 3,00	< 3,00	< 3,00	-	-	< 3,00	< 3,00	< 3,00	-	-	< 3,00
<i>Aphanothece sp.</i>	< 3,00	< 3,00	< 3,00	< 3,00	-	-	< 3,00	< 3,00	< 3,00	-	-	< 3,00
<i>Chroococcus sp.</i>	< 3,00	< 3,00	< 3,00	< 3,00	-	-	< 3,00	< 3,00	< 3,00	-	-	< 3,00
<i>Coelomoron sp.</i>	< 3,00	< 3,00	< 3,00	< 3,00	-	-	< 3,00	< 3,00	< 3,00	-	-	< 3,00
<i>Coelosphaerium sp.</i>	< 3,00	< 3,00	< 3,00	< 3,00	-	-	< 3,00	< 3,00	< 3,00	-	-	< 3,00
<i>Cylindrospermopsis sp.</i>	< 3,00	< 3,00	< 3,00	< 3,00	-	-	< 3,00	< 3,00	< 3,00	-	-	< 3,00
Cianobactérias	312,48	451,98	237,93	279	-	-	658,44	672,39	516,15	-	-	178,56
<i>Geitlerinema sp.</i>	< 3,00	< 3,00	< 3,00	< 3,00	-	-	< 3,00	< 3,00	< 3,00	-	-	< 3,00
<i>Gloeotrichia sp.</i>	< 3,00	< 3,00	< 3,00	< 3,00	-	-	< 3,00	< 3,00	< 3,00	-	-	< 3,00
<i>Gomphosphaeria sp.</i>	< 3,00	< 3,00	< 3,00	< 3,00	-	-	< 3,00	< 3,00	< 3,00	-	-	< 3,00
<i>Hormothamnion sp.</i>	< 3,00	< 3,00	< 3,00	< 3,00	-	-	< 3,00	< 3,00	< 3,00	-	-	< 3,00
<i>Jaaginema sp.</i>	< 3,00	< 3,00	< 3,00	< 3,00	-	-	< 3,00	< 3,00	< 3,00	-	-	< 3,00
<i>Lynngbya sp.</i>	< 3,00	< 3,00	< 3,00	< 3,00	-	-	< 3,00	< 3,00	< 3,00	-	-	< 3,00
<i>Merismopedia sp.</i>	< 3,00	< 3,00	< 3,00	< 3,00	-	-	< 3,00	< 3,00	< 3,00	-	-	< 3,00
<i>Microcystis sp.</i>	223,20	< 3,00	148,65	< 3,00	-	-	< 3,00	398,97	69,75	-	-	178,56
<i>Nodularia sp.</i>	< 3,00	< 3,00	< 3,00	< 3,00	-	-	< 3,00	< 3,00	< 3,00	-	-	< 3,00
<i>Nostoc sp.</i>	< 3,00	< 3,00	< 3,00	< 3,00	-	-	< 3,00	< 3,00	< 3,00	-	-	< 3,00
<i>Oscillatoria sp.</i>	< 3,00	< 3,00	< 3,00	< 3,00	-	-	< 3,00	< 3,00	357,12	-	-	< 3,00

Tabela 8 - Parâmetros biológicos da água do ponto de monitoramento de captação da SAEG no ribeirão Guaratinguetá em 2021.

(conclusão)

Parâmetro	Datas de Amostragem/Análise											
	05/01	04/02	16/03	08/04	11/05	23/06	20/07	19/08	23/09	21/10	12/11	16/12
Chuva 24h	Não	Não	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Sim
<i>E. coli</i> , NMP 100 mL <sup>-1</sup>	730	20000	2000	490	< 1	1000	< 1	< 1	< 1,8	1200	< 1	410
Parâmetro	07/01	16/02	19/03	13/04	11/05	-	13/07	12/08	16/09	-	12/11	09/12
Chuva 24h	Sim	Não	Sim	Sim	Não	-	Não	Não	Não	-	Não	Não
Microcistina, µg/L <sup>-1</sup>	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30	-	< 0,30	< 0,30	< 0,30	-	< 0,30	< 0,30
Parâmetro	Células mL <sup>-1</sup>											
<i>Phormidium sp.</i>	< 3,00	< 3,00	< 3,00	< 3,00	-	-	< 3,00	< 3,00	< 3,00	-	-	< 3,00
<i>Planktothrix sp.</i>	< 3,00	< 3,00	< 3,00	< 3,00	-	-	< 3,00	< 3,00	< 3,00	-	-	< 3,00
<i>Pseudanabaena sp.</i>	< 3,00	< 3,00	< 3,00	< 3,00	-	-	< 3,00	< 3,00	< 3,00	-	-	< 3,00
<i>Schizothrix sp.</i>	< 3,00	< 3,00	< 3,00	< 3,00	-	-	< 3,00	< 3,00	< 3,00	-	-	< 3,00
<i>Synechococcus sp.</i>	< 3,00	< 3,00	< 3,00	< 3,00	-	-	< 3,00	< 3,00	< 3,00	-	-	< 3,00
<i>Synechocystis sp.</i>	< 3,00	< 3,00	< 3,00	< 3,00	-	-	< 3,00	< 3,00	< 3,00	-	-	< 3,00
<i>Trichodesmium sp.</i>	< 3,00	< 3,00	< 3,00	< 3,00	-	-	< 3,00	< 3,00	< 3,00	-	-	< 3,00

Fonte: Autor.

Tabela 9 - Parâmetros biológicos do ponto de monitoramento de captação de água da SAEG no ribeirão Guaratinguetá em 2022.

(continua)

Parâmetro	Datas de Amostragem/Análise		
	11/01	01/02	10/03
Chuva 24h	-	Sim	Não
Microcistina, µg L <sup>-1</sup>	< 0,30	< 0,30	< 0,30
Parâmetro	18/01	03/02	17/03
Chuva 24h	Sim	Sim	Não
<i>E. coli</i> , NMP 100 mL <sup>-1</sup>	1200	400	520
Parâmetro	Células mL <sup>-1</sup>		
<i>Anabaena sp.</i>	< 3,00	< 3,00	< 3,00
<i>Aphanizomenon sp.</i>	898,38	820,26	954,18

Tabela 8 - Parâmetros biológicos do ponto de monitoramento de captação de água da SAEG no ribeirão Guaratinguetá em 2022.

(conclusão)

Parâmetro	Datas de Amostragem/Análise		
	11/01	01/02	10/03
Chuva 24h	-	Sim	Não
<i>Microcistina</i> , $\mu\text{g L}^{-1}$	< 0,30	< 0,30	< 0,30
Parâmetro	18/01	03/02	17/03
Chuva 24h	Sim	Sim	Não
<i>E. coli</i> , NMP 100 mL <sup>-1</sup>	1200	400	520
Parâmetro	----- Células mL <sup>-1</sup> -----		
<i>Aphanocapsa sp.</i>	< 3,00	< 3,00	< 3,00
<i>Aphanothece sp.</i>	< 3,00	< 3,00	< 3,00
<i>Chroococcus sp.</i>	< 3,00	< 3,00	< 3,00
<i>Coelomoron sp.</i>	< 3,00	< 3,00	< 3,00
<i>Coelosphaerium sp.</i>	< 3,00	< 3,00	< 3,00
<i>Cylindrospermopsis sp.</i>	< 3,00	< 3,00	< 3,00
<i>Cianobactérias</i>	1233,18	820,26	954,18
<i>Geitlerinema sp.</i>	< 3,00	< 3,00	< 3,00
<i>Gloeotrichia sp.</i>	< 3,00	< 3,00	< 3,00
<i>Gomphosphaeria sp.</i>	< 3,00	< 3,00	< 3,00
<i>Hormothamnion sp.</i>	< 3,00	< 3,00	< 3,00
<i>Jaaginema sp.</i>	< 3,00	< 3,00	< 3,00
<i>Lyngbya sp.</i>	< 3,00	< 3,00	< 3,00
<i>Merismopedia sp.</i>	< 3,00	< 3,00	< 3,00
<i>Microcystis sp.</i>	334,80	< 3,00	< 3,00
<i>Nodularia sp.</i>	< 3,00	< 3,00	< 3,00
<i>Nostoc sp.</i>	< 3,00	< 3,00	< 3,00
<i>Oscillatoria sp.</i>	< 3,00	< 3,00	< 3,00
<i>Phormidium sp.</i>	< 3,00	< 3,00	< 3,00
<i>Planktothrix sp.</i>	< 3,00	< 3,00	< 3,00
<i>Pseudanabaena sp.</i>	< 3,00	< 3,00	< 3,00
<i>Schizothrix sp.</i>	< 3,00	< 3,00	< 3,00
<i>Synechococcus sp.</i>	< 3,00	< 3,00	< 3,00
<i>Synechocystis sp.</i>	< 3,00	< 3,00	< 3,00
<i>Trichodesmium sp.</i>	< 3,00	< 3,00	< 3,00

Fonte: Autor.

O intenso aumento da quantidade de cianobactérias entre o final de 2021 e início de 2022 e a ocorrência de *Escherichia coli* nas águas da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá, indicam que mesmo com as ações realizadas nas propriedades rurais feitas por meio do Programa Produtor de Água, ainda vem ocorrendo lançamento de esgoto sem tratamento nas águas da bacia.

Considerando que não existe apenas uma fonte de poluição nas águas da bacia, deve-se implementar um sistema universal de tratamento de esgoto que contemple toda a comunidade da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá.

O trabalho de Freitas (2017), aperfeiçoa a tecnologia de Filtros Lentos Domiciliares (FLD), para que seja usado em comunidades isoladas, de modo que o filtro possa ser usado mesmo em águas de alta turbidez e com alta concentração de material suspenso, através do uso conjunto de pré-tratamento e pós-tratamento. A estrutura para os filtros é de montagem simples e os materiais de fácil acesso. Neste trabalho foi verificado que o extrato de quiabo (*Hibiscus esculentus*) como desinfetante foi o mais eficiente na inativação de coliformes fecais, especialmente, de *Escherichia coli*. Apesar do bom resultado desse filtro para a inativação da bactéria *Escherichia coli*, mais estudos são necessários para a aplicação desse tipo de filtro na bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá, de modo a adequá-lo às necessidades e à realidade da comunidade. Freitas (2017) recomenda maiores estudos com a utilização de desinfetantes alternativos para melhorar a eficiência de inativação de *Escherichia coli* e de (oo)cistos de protozoários.

A implementação de técnicas descentralizadas de tratamento do esgoto que beneficiem a comunidade da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá pode contribuir para a melhoria do saneamento básico e para a redução dos custos do tratamento das águas captadas pela SAEG para abastecimento público.

Para a disposição adequada do esgoto no solo são necessários estudos mais aprofundados sobre as características dos solos e dos níveis freáticos locais para evitar danos ambientais e à saúde da comunidade, que podem ser agravados por processos de erosão e carreamento de sedimentos aos corpos d'água. Outro problema causado pela disposição de resíduos orgânicos no solo é a salinização, a contaminação do solo e das culturas, das águas superficiais e subterrâneas.

Tonetti *et al* (2018), recomenda que no tratamento de esgotos em comunidades isoladas sejam combinadas as técnicas de tanques sépticos, filtros anaeróbicos e filtros de areia ou de Sistemas Alagados Construídos (SAC), para posterior lançamento dos efluentes nas águas da bacia, já que o sistema costuma ser suficiente para que a água a ser despejada no corpo d'água atenda aos padrões estabelecidos pelas resoluções CONAMA nº 357/2005 e CONAMA nº 430/2011.

O uso do SAC como etapa anterior à disposição final traz a vantagem de o lodo ser estabilizado no sistema e poder ser posteriormente removido e aplicado na agricultura ou na recuperação de solos degradados. No entanto, para que essa alternativa seja aplicada de forma segura é preciso estar atento ao que estabelece a Resolução Conama 375/2006, quanto aos critérios e procedimentos para o uso, em áreas agrícolas, de lodo de esgoto. Dessa forma, o método mais seguro ainda é o uso combinado de tanques sépticos, filtros anaeróbicos e filtros de areia, desde que passem por manutenção adequada, determinada em projeto. Esse tipo de sistema pode ser instalado de maneira individual ou semicoletivo.

O tanque séptico pode receber diversos tipos de esgoto, sendo usado para tratamento de águas de vaso sanitário, tendo-se o cuidado para que não receba águas pluviais e outros despejos, como águas de piscinas e lavagem de reservatório de águas, que podem interferir negativamente no processo de tratamento. O lodo e a espuma acumulados no processo de sedimentação de material sólido e flutuação de óleos e gorduras no tanque séptico devem ser removidos periodicamente em tempo determinado em projeto, devendo ser dispostos de forma correta e em locais adequados.

O filtro anaeróbio é uma unidade de pós-tratamento, que recebe o esgoto pré-tratado pelo tanque séptico, sendo constituído por uma câmara de material filtrante, responsável por fixar micro-organismos responsáveis pela degradação da matéria orgânica dissolvida. Alguns filtros anaeróbicos utilizam como material filtrante bambu e cascas de coco. O sucesso na utilização desses materiais naturais abre espaço para estudos que promovam materiais semelhantes, que tenham fácil obtenção, baixo custo e possam ser usados na bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá.

Os filtros de areia são instalados junto a valas de filtração e são formados por uma camada superior de areia sobre outros materiais filtrantes de maior granulação, como pedrisco, brita ou seixo rolado. O tratamento ocorre pela filtração do esgoto e pela degradação da matéria

orgânica realizada por micro-organismos presentes na areia e nos outros materiais filtrantes. A alternância entre o filtro de areia e a vala de filtração deve ser feita a cada três meses, de modo a realizar a limpeza da areia, que adquire uma coloração escura e deve ser armazenada em recipiente aberto e com exposição ao sol até que desapareça a coloração escura, tomando-se o cuidado com a manutenção para que não ocorra entupimentos no filtro (TONETTI *et al*, 2018).

O tanque séptico e o filtro anaeróbico geram lodo, que deve ser disposto e tratado de maneira adequada, já que apresenta elevadas concentrações de micro-organismos patogênicos. Segundo Tonetti *et al* (2018), na cidade de Campinas, os custos com o gerenciamento do lodo poderiam ser reduzidos, se esta operação fosse realizada pela companhia de saneamento local, mas na impossibilidade, o tratamento de esgoto pela comunidade, com a construção de um leito de secagem e posterior uso do lodo, seria economicamente mais favorável que a contratação de caminhão limpa-fossa.

Na bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá, caso não haja a possibilidade de gestão de lodo pela SAEG deve-se estudar a ação mais viável. Vale ressaltar que não há um arcabouço legal que trate do lodo gerado em sistemas descentralizados, individuais ou semicoletivos, sendo que a única menção ao lodo de sistemas individuais ocorre no artigo 3º, parágrafo 2º da resolução Conama nº 375/2006, que veta a utilização agrícola de lodos provenientes de tratamento individual coletados por veículos, antes do seu tratamento em uma estação de tratamento de esgotos. Após passar por processo de secagem e desinfecção o lodo pode ser utilizado para recuperação de solo degradado para a recuperação da mata e também para uso agrícola onde não haja a produção de hortaliças, frutas rasteiras e legumes que estejam próximo ao solo ou sejam consumidos crus. A grande quantidade de nutrientes como nitrogênio e fósforo na composição do lodo proveniente de tratamento do esgoto, tem grande potencial como fertilizante, podendo substituir o uso de fertilizantes comerciais. Na bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá, ambas as aplicações são vantajosas para a comunidade da bacia, porém deve-se fazer estudos mais aprofundados que levem em consideração as necessidades da comunidade e a aplicabilidade do projeto.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os parâmetros de qualidade da água que compõem o IQA foram obtidos no portal Infoáguas, disponibilizado pela CETESB, e foram compilados em tabelas e gráficos, junto ao cálculo do IQA, o que permitiu a avaliação temporal da qualidade da água da bacia.

Foi observado o impacto positivo do Programa Produtor de Água na qualidade das águas da bacia do ribeirão Guaratinguetá, visto que os valores para as concentrações de nitrogênio total e fósforo total, que estavam fora dos padrões da resolução Conama nº 357/2005 para rios de classe 2, segundo Faria (2012), apresentaram valores adequados à resolução no período analisado, assim como os outros parâmetros.

Embora os valores de IQA tenham indicado uma boa qualidade da água, a ocorrência de quantidades preocupantes de *E. coli* nas águas da bacia, indicam lançamento de esgoto não tratado nos corpos d'água, que pode ter graves consequências à saúde, o que comprova que este índice pode mascarar a qualidade da água e deve ser aplicado em conjunto com a análise de parâmetros complementares.

Apesar de os valores para cianobactérias e cianotoxinas indicarem que existe um controle desses micro-organismos nas águas da bacia, houve crescimento da densidade de cianobactérias no ano de 2022, reforçando que ocorreu um aumento no lançamento de esgoto não tratado, proveniente do aumento do turismo na região.

Como existe mais de uma fonte de poluição das águas nesta bacia, deve-se implementar um sistema de tratamento de esgoto universal, que contemple toda a comunidade da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá.

De acordo com Tonetti *et al* (2018), em comunidades isoladas, a combinação de tanques sépticos, filtros anaeróbicos e filtros de areia, é eficaz no tratamento do esgoto para retorno às águas superficiais da bacia. O lodo produzido nesse processo, pode ser utilizado na recuperação de solos degradados e na produção agrícola, desde que seco e desinfetado. Deve-se verificar se a gestão do lodo proveniente do tanque séptico e do filtro anaeróbico pode ser feita pela SAEG e caso não seja possível, tornam-se necessários estudos para que o lodo produzido possa ser tratado e disposto pela própria comunidade da bacia, verificando a possibilidade do seu uso como fertilizante.



## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**. 2021. Brasil: Agência Nacional de Águas - ANA, [2022] Disponível em: <https://relatorio-conjuntura-ana-2021.webflow.io/capitulos/quantitativo>. Acesso em: 04 mar. 2023.
- BRANCO, A. M. M. **Uso do solo e qualidade da água da bacia hidrográfica da Serra da Mantiqueira (UGRHI-1)**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Faculdade de Engenharia de Bauru, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2014. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/327126672\\_Uso\\_do\\_solo\\_e\\_a\\_qualidade\\_da\\_agua\\_subterranea\\_estudo\\_de\\_caso\\_do\\_aquifero\\_Rio\\_Branco\\_Acre\\_Brasil](https://www.researchgate.net/publication/327126672_Uso_do_solo_e_a_qualidade_da_agua_subterranea_estudo_de_caso_do_aquifero_Rio_Branco_Acre_Brasil). Acesso em: 15 mar. 2023.
- CARVALHO, M. C. *et al.* **Manual de cianobactérias planctônicas**: legislação, orientações para o monitoramento e aspectos ambientais. São Paulo: CETESB, 2013. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/manual-cianobacterias-2013.pdf>. Acesso em: 04 mar. 2023.
- COLLI, G. A. T. *et al.* Impactos do uso e ocupação do solo em área de produção de hortaliças, município de Barra Mansa (RJ). **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá, v. 13, n. 2, p. 621-644, 2020. Disponível em: <https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/6716>. Acesso em: 15 mar. 2023.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Apêndice E**: índices de qualidade das águas, 2021. São Paulo: CETESB, 2022. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2022/11/Apendice-E-Indices-de-Qualidade-das-Aguas.pdf>. Acesso em: 04 mar. 2023.
- FARIA, D. A. **Influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Faculdade de Engenharia de Bauru, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2012. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/98296>. Acesso em: 15 mar. 2023.
- FERREIRA, M. C. *et al.* Sistema de informações geográficas aplicado à análise do uso e ocupação do solo em áreas de preservação permanente da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá (SP). *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais [...]**. Curitiba: Inpe, 2011. Disponível em: <http://mar.tecnico.unicamp.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/07.22.14.36/doc/p0212.pdf?metadatarpository=&mirror=urllib.net/www/2011/03.29.20.55>. Acesso em: 15 mar. 2023.

FREITAS, B. L. S. **Filtros lentos em escala domiciliar como alternativa de tratamento de águas com alto risco microbiológico em comunidades isoladas.** 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-18102017-165857/publico/DissertFreitasBarbaraLuizaSCorrig.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2023

TONETTI, A. L. *et al.* **Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas:** referencial para a escolha de soluções. Campinas: Biblioteca Unicamp, 2018. Disponível em: <https://www.fecfau.unicamp.br/~saneamentorural/wp-content/uploads/2018/11/Livro-Tratamento-de-Esgotos-Domésticos-em-Comunidades-Isoladas-ilovepdf-compressed.pdf>. Acesso em: 07 mar. 2023

TRANNIN, I.C.B.; NADUR, R. F. Extensão universitária aplicada à educação ambiental de comunidades isoladas. *In:* SEABRA, G (org.). **Educação Ambiental:** uso, manejo e gestão dos recursos naturais. Ituiutaba: Barlavento, 2022. p. 848-860. Disponível em: <https://www.cnea.com.br/publicacoes>. Acesso em: 04 mar. 2023.

## BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Indicadores de qualidade- Índice de Qualidade das Águas (IQA)**. Brasil: Agência Nacional de Águas - ANA, [2023]. Disponível em: [http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx#\\_ftn4](http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx#_ftn4). Acesso em: 04 mar. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **O que é PNQA?** Brasil: Agência Nacional de Águas - ANA, [2023]. Disponível em: <http://pnqa.ana.gov.br/pnqa.aspx>. Acesso em: 04 mar. 2023.

BARELLA, W. *et al.* As relações entre as matas ciliares, os rios e os peixes: *In*: RODRIGUES, RR; LEITÃO FILHO, H. F. (org.). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: EDUSP/FAPESP, 2020. v. 2, p. 187-208.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Atos Normativos**. Brasil: Conselho Nacional do Meio Ambiente - Conama, [2023]. Disponível em: <http://conama.mma.gov.br/component/sisconama/?view=atosnormativos>. Acesso em: 15 mar. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Cidades e Estados**. Brasil: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, [2021]. Disponível em: <https://ibge.gov.br/cidades-e-estados/sp/guaratingueta.html>. Acesso em: 15 mar. 2022.

PREFEITURA MUNICIPAL DE GUARATINGUETÁ. **Turismo**. Guaratinguetá: Prefeitura Municipal De Guaratinguetá, [2023]. Disponível em: <https://guaratingueta.sp.gov.br/turismo/>. Acesso em: 15 mar. 2023.

SANTANA, D.P. **Manejo integrado de bacias hidrográficas**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/486784/manejo-integrado-de-bacias-hidrograficas#:~:text=Manejo%20integrado%20de%20Bacias%20Hidrogr%C3%A1ficas.%20Autoria%3A%20SANTANA%2C%20D.,ambiental%20e%20socioecon%C3%B4mica%2C%20que%20interagem%20no%20espa%C3%A7o%20agr%C3%ADcola>. Acesso em: 15 mar. 2023.

TEODORO, V. L. I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. O Conceito de Bacia Hidrográfica e a Importância da Caracterização Morfométrica para o Entendimento da Dinâmica Ambiental Local. **Revista Brasileira Multidisciplinar**, [S. l.], v. 11, n. 1, p. 137-156, 2007. Disponível em: <https://revistarebram.com/index.php/revistauniara/article/view/236>. Acesso em: 15 mar. 2023.