



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS**  
**DEPARTAMENTO DE QUÍMICA ANALÍTICA E FÍSICO-QUÍMICA**  
**CURSO DE BACHARELADO EM QUÍMICA**

**LORRANE CURVELLO LIMA**

**AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E QUÍMICOS EM ÁGUAS  
SUPERFICIAIS DA REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA**

**FORTALEZA**

**2022**

LORRANE CURVELLO LIMA

AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E QUÍMICOS EM ÁGUAS  
SUPERFICIAIS DA REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA

Monografia apresentada à Coordenação do Curso de Bacharelado em Química da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Química com Habilitação Industrial.

Orientadora Didático-pedagógica: Prof<sup>a</sup>. Dra. Maria Das Graças Gomes.

Orientadora Profissional: Dra. Paula Luciana Rodrigues de Sousa.

FORTALEZA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- L698a Lima, Lorrane Curvello.  
Avaliação de parâmetros físico-químicos e químicos em águas superficiais da região metropolitana de Fortaleza / Lorrane Curvello Lima. – 2022.  
56 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Curso de Química, Fortaleza, 2022.  
Orientação: Profa. Dra. Maria Das Graças Gomes.  
Coorientação: Profa. Dra. Paula Luciana Rodrigues de Sousa.
1. Águas superficiais. 2. Eutrofização. 3. Nitrificantes. I. Título.

CDD 540

---

LORRANE CURVELLO LIMA

AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E QUÍMICOS EM ÁGUAS  
SUPERFICIAIS DA REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA

Monografia apresentada à Coordenação do  
Curso de Bacharelado em Química da  
Universidade Federal do Ceará, como requisito  
parcial à obtenção do título de Bacharel em  
Química com Habilitação Industrial.

Aprovada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Maria das Graças Gomes (Orientadora didático-pedagógica)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Dra. Paula Luciana Rodrigues de Sousa (Orientadora profissional)  
Núcleo de Tecnologia e Qualidade Industrial do Ceará (NUTEC)

---

Dra. Natália da Rocha Pires (Examinadora)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, João e Rosane.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, que me deu forças o suficiente para o desenvolvimento dessa pesquisa e capacidade para concluir todas as atividades e as obrigações ao longo da graduação.

À Universidade Federal do Ceará (UFC) que proporcionou a oportunidade de me colocar em contato com profissionais da minha área, cujos aprendizados que obtive se tornaram imprescindíveis para a construção do meu profissionalismo. Além disso, também agradeço à universidade pelos professores cujos conhecimentos passados jamais serão esquecidos.

Ao meu pai João e à minha mãe Rosane, que são meus maiores exemplos de caráter, de conduta e de disciplina. Juntos, sempre formaram o maior porto seguro que já tive até então. Sempre me incentivaram e me apoiaram, cada um à sua maneira. Ambos são responsáveis pelas minhas realizações, uma vez que são as fontes de minha maior admiração nessa vida.

Ao meu tio e padrinho Wagner, que sempre vibra e torce pelas minhas conquistas, apesar da distância.

Ao meu companheiro e melhor amigo Gean, que buscou estar comigo nas horas mais difíceis. Compartilhou comigo momentos de pura tensão, alegrias, choros e risadas. Esteve ao meu lado desde o começo da graduação, me ensinando, me incentivando, me auxiliando e até me irritando, em momentos de descontração. Acima de tudo, é a pessoa mais leal e que me proporcionou toda a estrutura para a realização da minha monografia.

À Prof<sup>ª</sup>. Dra. Maria das Graças Gomes, que me forneceu muito conhecimento nas disciplinas de química analítica, como também durante a orientação desse trabalho. Agradeço principalmente por ter aceitado me orientar e por ser uma profissional tão influente em sua área de atuação.

Ao NUTEC e à Dra. Paula Luciana pela oportunidade de estágio no laboratório de Química Ambiental (LQA).

Ao laboratório bioMass, da UFC, que foi onde obtive meu primeiro contato com pesquisas científicas e aos seus membros, Prof<sup>ª</sup>. Dra. Davila Zampieri, Gabriela, Rita e Rodolfo, que me mostraram a verdadeira definição de companheirismo e que me propiciaram muitos ensinamentos, diversão e, acima de tudo, muita experiência.

“A água de boa qualidade é como a saúde ou a liberdade: só tem valor quando acaba.”

Guimarães Rosa

## RESUMO

O Brasil é um país rico em reservas de águas superficiais. Contudo, devido às condições climáticas e geográficas, a região Nordeste é portadora de um grande déficit dessas reservas. A urbanização é responsável pela poluição de corpos hídricos, devido aos despejos domésticos e industriais recorrentes nessas águas. Esse aporte de poluição, com cargas elevadas de nitrogênio (N) e fósforo (P), tende a diminuir a quantidade de O<sub>2</sub> na água, levando ao processo de eutrofização. Diante disso, fez-se a análise de parâmetros físico-químicos (Turbidez, pH e OD) e parâmetros químicos (Nitrogênio amoniacal, Nitritos, Nitratos, Fósforo e DBO) para 10 amostras de corpos hídricos, divididas em ambientes lóticos e lênticos, coletadas da região metropolitana de Fortaleza, no estado do Ceará. Esses parâmetros permitem verificar a qualidade das águas conforme os limites estabelecidos para as 3 classes da Resolução CONAMA n° 357/2005. De acordo com os ensaios, 3 amostras na turbidez e 7 amostras nas DBOs não estão de acordo para classe 1. Para a classe 2, 3 amostras não estão dentro do limite exigido para DBO. Enquanto isso, o teste de Nitrogênio amoniacal revelou que duas amostras não se enquadram em nenhuma das classes, por excederem suas concentrações limites. Desse modo, faz-se necessário um monitoramento quanto as fontes poluidoras e tratamentos específicos para recuperar a qualidade dessas águas.

**Palavras-chave:** Águas superficiais; Eutrofização; Nitrificantes.

## ABSTRACT

Brazil is a country rich in surface water reserves. However, climatic and geographical conditions make the Northeast region deficient in terms of these reserves. Urbanization is responsible for the pollution of water bodies, due to recurrent domestic and industrial discharges into these waters. This contribution of pollution, with high loads of nitrogen (N) and phosphorus (P), tends to reduce the amount of O<sub>2</sub> in the water, leading to the process of eutrophication. Therefore, the analysis of physical-chemical parameters (Turbidity, pH and OD) and chemical parameters (Ammoniacal Nitrogen, Nitrites, Nitrates, Phosphorus and BOD) was performed for 10 samples of water bodies, divided into lotic and lentic environments, collected from the metropolitan region of Fortaleza, in the state of Ceará. These parameters allow checking the water quality according to the limits established for the 3 classes of CONAMA Resolution No. 357/2005. According to the tests, 3 samples in the turbidity and 7 samples in the BODs are not in accordance for class 1. For class 2, 3 samples are not within the required limit for BOD. Meanwhile, the ammoniacal Nitrogen test revealed that two samples did not fit into any of the classes, as they exceeded their threshold concentrations. Thus, it is necessary to monitor the amount of polluting sources and specific treatments to recover the quality of these waters.

**Keywords:** Surface water; Eutrophication; Nitrifying.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Demandas do uso da água por finalidade no Brasil, em 2016 .....	20
Figura 2 – Concentração média de OD em águas superficiais no Brasil, de 2001 a 2015 .....	23
Figura 3 – Concentração média de Fósforo Total, de 2001 a 2015 .....	28
Figura 4 – Concentração média de DBO no período de 2001 a 2015, nos pontos monitorados .....	29
Figura 5 – Amostras coletadas para a realização dos ensaios .....	31
Figura 6 – Turbidímetro DM-TU .....	32
Figura 7 – pH de bancada .....	33
Figura 8 – Espectrofotômetro UV-Vis .....	34
Figura 9 – Geladeira comum destinada à DBO .....	38
Figura 10 – Winkler padrão usado na DBO .....	39
Figura 11 – Equipamento oxímetro destinado para leitura de OD .....	40

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dependência do teor de NH <sub>3</sub> em função do pH .....	24
Tabela 2 – Teor de NH <sub>3</sub> com base na faixa de pH da água de cada classe .....	25
Tabela 3 – Teor de P-total com base no ambiente .....	28
Tabela 4 – Equação da reta ( $y = ax + b$ ) e R <sup>2</sup> das curvas de calibração de cada parâmetro .....	41
Tabela 5 – Dados obtidos por Turbidimetria e seus limites estimados conforme a classe da água conforme CONAMA 357/2005 .....	42
Tabela 6 – Dados obtidos para pH e seus limites estimados conforme a classe da água .....	43
Tabela 7 – Teor de N-NH <sub>3</sub> conforme a classe da água e suas respectivas situações de conformidade .....	44
Tabela 8 – Teor de N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> e seus limites estimados conforme a classe da água .....	45
Tabela 9 – Teor de N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> e seus limites estimados conforme a classe da água .....	47
Tabela 10 – Teor de fósforo nas amostras e seus limites conforme a classe da água, para ambientes lóticos .....	48
Tabela 11 – Teor de fósforo nas amostras e seus limites conforme a classe da água, para ambientes lênticos .....	49
Tabela 12 – Teor das amostras e seus limites estimados conforme a classe da água .....	50

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
BOD	<i>Biochemical Oxygen Demand</i>
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
LQ	Limite de Quantificação
OD	Oxigênio Dissolvido
pH	Potencial Hidrogeniônico
UNT	Unidades Nefelométricas
UV-Vis	Região Ultravioleta e Visível
N-NH <sub>3</sub>	Nitrogênio Amoniacal
N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Nitritos
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Nitratos

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 – Uso das águas doces conforme a classe de enquadramento .....	18
---	----

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	14
2	OJETIVOS .....	16
2.1	Objetivo Geral .....	16
2.2	Objetivos Específicos .....	16
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	17
3.1	Corpos hídricos .....	17
3.2	Enquadramento de corpos hídricos .....	18
3.3	Qualidade da água .....	19
3.4	Parâmetros físico-químicos .....	20
3.4.1	<i>Turbidez</i> .....	20
3.4.2	<i>Potencial Hidrogeniônico (pH)</i> .....	21
3.4.3	<i>Oxigênio dissolvido (OD)</i> .....	22
3.5	Parâmetros químicos .....	23
3.5.1	<i>Nitrogênio amoniacal (N-NH<sub>3</sub>)</i> .....	23
3.5.2	<i>Nitritos (N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)</i> .....	25
3.5.3	<i>Nitratos (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)</i> .....	26
3.5.4	<i>Fósforo</i> .....	27
3.5.5	<i>Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)</i> .....	29
4	METODOLOGIA .....	31
4.1	Turbidez .....	32
4.2	pH .....	32
4.3	N-NH <sub>3</sub> .....	33
4.3.1	<i>Procedimento</i> .....	33
4.3.2	<i>Curva de calibração</i> .....	34
4.4	N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> .....	34
4.4.1	<i>Preparo do reagente colorimétrico</i> .....	34
4.4.2	<i>Procedimento</i> .....	34
4.4.3	<i>Curva de calibração</i> .....	35
4.5	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> .....	35
4.5.1	<i>Procedimento</i> .....	35
4.5.2	<i>Curva de calibração</i> .....	35

<b>4.6</b>	<b>Fósforo</b> .....	36
<b>4.6.1</b>	<b><i>Preparo do reagente combinado</i></b> .....	36
<b>4.6.2</b>	<b><i>Procedimento</i></b> .....	36
<b>4.6.3</b>	<b><i>Curva de calibração</i></b> .....	36
<b>4.7</b>	<b>DBO</b> .....	37
<b>4.7.1</b>	<b><i>Preparo do inibidor de nitrogênio</i></b> .....	37
<b>4.7.2</b>	<b><i>Preparo da água de alimentação</i></b> .....	37
<b>4.7.3</b>	<b><i>Procedimento</i></b> .....	38
<b>4.8</b>	<b>OD</b> .....	39
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	41
<b>5.1</b>	<b>Curvas de calibração</b> .....	41
<b>5.2</b>	<b>Parâmetros físico-químicos</b> .....	41
<b>5.2.1</b>	<b><i>Turbidez</i></b> .....	41
<b>5.2.2</b>	<b><i>pH</i></b> .....	43
<b>5.3</b>	<b>Parâmetros químicos</b> .....	44
<b>5.3.1</b>	<b><i>N-NH<sub>3</sub></i></b> .....	44
<b>5.3.2</b>	<b><i>N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup></i></b> .....	45
<b>5.3.3</b>	<b><i>N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup></i></b> .....	46
<b>5.3.4</b>	<b><i>Fósforo</i></b> .....	48
<b>5.3.4.1</b>	<b><i>Ambientes lóticos</i></b> .....	48
<b>5.3.4.2</b>	<b><i>Ambientes lênticos</i></b> .....	49
<b>5.3.5</b>	<b><i>DBO e OD</i></b> .....	50
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	52
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	53

## 1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural de extrema importância para os seres vivos, compreendendo tanto a sua sobrevivência como também a manutenção do equilíbrio das condições ecológicas e ambientais. O Brasil possui grande disponibilidade desse recurso, especialmente no que tange a reservas de águas superficiais (ANA, 2017). Entretanto, essa disponibilidade se dá por meio de uma distribuição heterogênea ao longo de seu território ao passo que não se limita a termos quantitativos (ANJOS; MORENO; FERNANDES, 2015).

O termo “águas superficiais” refere-se a todo tipo de água doce que não penetra no solo e que, por conta disso, são de fácil acesso. Dos exemplos dessa classe de água tem-se os rios, os lagos, as lagoas e os açudes, que compõem as principais fontes de abastecimento do planeta. Quanto à sua qualidade, pode ser facilmente comprometida por meio de processos naturais, como pelo intemperismo de rochas ou por erosão, do mesmo modo que pela ação antrópica, que ocorre principalmente por despejo de efluentes em áreas urbanas e pelo uso de fertilizantes em atividades agrícolas (ANDRADE *et al.*, 2007).

A heterogeneidade presente na distribuição hidrográfica no Brasil é influenciada por variações climáticas, índices pluviométricos e questões geológicas que impossibilitam a reserva hídrica. A região Nordeste, que tem 87,7% do território no semiárido, é marcada por irregularidades pluviométricas e por elevações térmicas que garantem longos períodos de seca ao longo do ano. Além disso, é a região que conta com a maior taxa de evapotranspiração do país, o que demanda grande atenção quanto à demanda hídrica, salientando também a importância de sua preservação (ANA, 2017).

Como supracitado, a qualidade da água, ou ainda de corpos hídricos, pode ser alterada devido aos despejos executados em áreas de urbanização. Esses despejos, que podem ser de origem doméstica ou industrial, resultam no processo de eutrofização da água, uma forma de poluição oriunda da degradação ambiental do meio aquático (KITSIOU; KARYDIS, 2011). O desequilíbrio ambiental despontado por esse processo é desencadeado pela presença de quantidades elevadas de nitrogênio (N) e de fósforo (P), que embora sejam nutrientes essenciais, diminuem a quantidade de oxigênio dissolvido, bem como estimulam o crescimento de algas ou de microrganismos anaeróbicos.

Monitorar a presença da série nitrogenada ( $\text{N-NH}_3$ ,  $\text{N-NO}_2^-$ ,  $\text{N-NO}_3^-$ ) em corpos hídricos é de grande importância para se determinar parâmetros causadores de eutrofização. Naturalmente, encontra-se amônia ( $\text{N-NH}_3$ ) em águas superficiais proveniente dos processos industriais, como ocorre na siderurgia (GARCEZ, 2004). O nitrato ( $\text{N-NO}_3^-$ ), apesar de ser a

forma mais estável de oxidação, pode ser reduzido pela ação microbiológica. Enquanto isso, o nitrito ( $\text{N-NO}_2^-$ ) é totalmente instável, sendo facilmente oxidado por processos químicos ou biológicos para nitrato ou reduzido para formar inúmeros outros compostos. Elevadas concentrações dessas espécies podem desencadear sérios danos à saúde humana, como o desenvolvimento de câncer gástrico ou metahemoglobinemia (ANTÓN; LIZASO, 2001).

O fósforo é um nutriente que atua como um fator limitante do processo de eutrofização. Esse fato deve-se à presença de algas que absorvem o nitrogênio atmosférico, resultando em uma concentração que não é reduzida com a diminuição da carga afluente do elemento. Com isso, o controle das fontes de fósforo torna-se prioritário (BATISTA *et al.*, 2013) já que o processo implica na redução do oxigênio dissolvido, representando um risco em potencial para a fauna e flora aquática (REPOLHO, 2022).

A análise de oxigênio dissolvido contribui para a manutenção da vida aquática, podendo ser utilizado como parâmetro de qualidade da água a fim de determinar o impacto de poluentes em corpos hídricos. Para quantificá-lo em águas naturais é comum a realização do ensaio de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), que representa o potencial de matéria orgânica nas águas, esgotos e efluentes domésticos ou industriais. Seu princípio baseia-se na diferença de concentrações de oxigênio em amostras, geralmente diluídas, que são submetidas a uma incubação de 5 dias e a 20 °C (PEREIRA; OLIVEIRA; PINTO, 2010).

Diante disso, estudos conduzem o monitoramento da qualidade da água para proteger a saúde pública humana e ajudar na manutenção dos ecossistemas aquáticos. Análises como pH, Turbidez, Nitrogênio Amoniacal, Nitrito, Nitrato, Fósforo, DBO e Oxigênio Dissolvido servem como parâmetros para ter-se controle dos corpos d'água de interesse. A Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) n° 357/2005 estabelece limites mínimos para esses teores, de modo a garantir a qualidade de águas salinas, salobras e doces. Logo, o presente trabalho visa analisar os parâmetros citados para verificar se as águas superficiais da região metropolitana de Fortaleza encontram-se dentro dos limites estabelecidos pela resolução vigente.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Verificar a qualidade das águas superficiais da região metropolitana de Fortaleza quanto aos parâmetros nitrificantes e eutrofizantes.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Avaliar os teores de Turbidez, de pH, de Nitrogênio amoniacal, de Nitrito, de Nitrato, de Fósforo, de DBO e de OD das amostras;
- Analisar a qualidade de amostras de águas superficiais quanto aos parâmetros supracitados estabelecidos na Resolução CONAMA n° 357/2005 para águas doces;
- Caracterizar o grau de poluição dos corpos hídricos estudados;
- Averiguar se há eutrofização nas águas.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Corpos hídricos

A água doce é considerada um mineral de grande valia para a sobrevivência animal e vegetal. Além disso, é um fator extremamente limitante para a manutenção da vida no planeta. Embora seja considerado um recurso natural renovável, sua distribuição se dá de forma irregular variando com as condições climáticas, geográficas e meteorológicas. Com isso, admite-se a finitude e a vulnerabilidade do recurso, sendo imprescindível a sua preservação (OLIVEIRA; ROSSATO, 2006).

O termo Corpo Hídrico, também conhecido como Corpo d'Água, refere-se a toda ou qualquer fonte de água doce (MELO *et al.*, 2008). Quanto à classificação, que vai de acordo com o posicionamento ou com a distribuição espacial, está dividida em dois principais tipos: águas superficiais (rios, lagos e açudes) como também em águas subterrâneas, aquíferos e lençóis freáticos (COSTA *et al.*, 2012; OLIVEIRA; ROSSATO, 2006).

A Resolução nº 357 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) estabelece uma subdivisão para águas superficiais com base em seus ecossistemas, sendo ela em lóticos ou lênticos. Um ecossistema lótico é considerado um ambiente cuja água possui constante movimentação, enquanto os lênticos refere-se à água com pouco ou completa ausência de movimento (GONÇALVES *et al.*, 2017). Uma problemática que influencia nessa diferenciação é a dificuldade de renovação fluida de ambientes lênticos com o efeito de minimizar os processos de poluição. Com isso, nutrientes como o fósforo tornam-se fundamentais para definir o seu nível trófico (VEIGA, 2010), cujos limites são determinados por legislação dependendo do tipo do ambiente.

Mesmo com uma distribuição bastante heterogênea, o Brasil é um país que possui destaque quanto a disponibilidade hídrica, sendo considerada a maior de todo o planeta. Estados como o Ceará, que pertencem a região Nordeste, fogem da situação de conforto no que tange à essa disponibilidade devido às estações de ausência de chuvas e à geologia que impossibilita o armazenamento de água no período de estiagem. Além do mais, as temperaturas elevadas dessas localidades, que persistem ao longo do ano todo, resultam em altas taxas de evaporação, conseqüentemente aumentando a demanda hídrica e tornando ainda mais agravante a sua escassez de água doce (LANNA, 2001).

### 3.2 Enquadramento de corpos hídricos

Para que seja feito o enquadramento de um dado corpo hídrico, a Resolução CONAMA 357/2005 estabelece regras e metas baseadas nos níveis de qualidades a fim de atender a demanda populacional. Um corpo d'água pode ser classificado em uma das cinco classes instituídas pela portaria: classe especial, classe 1, classe 2, classe 3 e classe 4., conforme é explicitado no Quadro 1. O processo de enquadramento em classes leva em consideração inúmeros fatores, especialmente o de seu uso, ao mesmo tempo que permite construir objetivos a serem obtidos ou mantidos.

Visando complementar o enquadramento de corpos hídricos, aplica-se a Política Nacional do Recursos Hídricos (PNRH) por meio da Lei nº 9.433/1997. Tal Lei também garante primordialmente a qualidade compatível para o destino de uso da água doce, de tal forma a reduzir os gastos com a recomposição de possíveis danos causados a ela.

QUADRO 1- Uso das águas doces conforme a classe de enquadramento (continua)

Classe	Usos permitidos
<b>Classe Especial</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Ao abastecimento para o consumo humano, com desinfecção;</li> <li>b) À preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas;</li> <li>c) Preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.</li> </ul>
<b>Classe 1</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;</li> <li>b) À proteção das comunidades aquáticas;</li> <li>c) À recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme a Resolução CONAMA nº 274/2000;</li> <li>d) À irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvem rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película;</li> <li>e) À proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.</li> </ul>
<b>Classe 2</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;</li> <li>b) À proteção das comunidades aquáticas;</li> <li>c) À recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme a Resolução do CONAMA nº 274/2000;</li> <li>d) À irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte, lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto;</li> <li>e) À aquicultura e à atividade de pesca.</li> </ul>

QUADRO 1- Uso das águas doces conforme a classe de enquadramento (conclusão)

Classe	Usos permitidos
<b>Classe 3</b>	a) Ao abastecimento para o consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; b) À irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; c) À pesca amadora; d) À recreação de contato secundários; À dessedentação de animais
<b>Classe 4</b>	a) À navegação; b) À harmonia paisagística.

Fonte: Adaptado de BRASIL (2005).

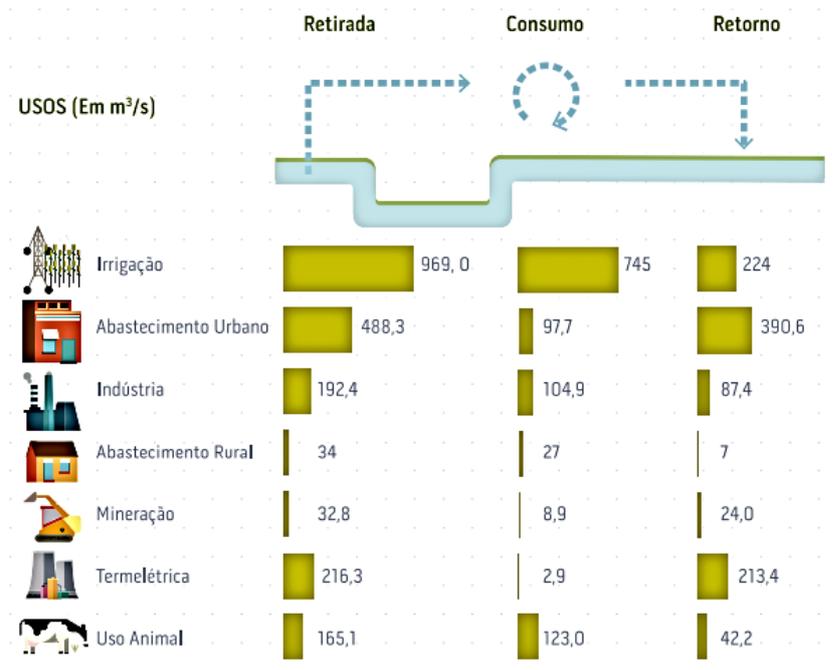
### 3.3 Qualidade da água

O conceito da qualidade de um recurso hídrico é muito mais amplo do que a mera caracterização da água e vai além do seu grau de pureza. É um conjunto de características físicas, químicas e biológicas que a água possui. Os padrões determinados pelas resoluções têm por objetivo classificá-las de acordo com sua segurança para o ser humano, já que ela tem grande impacto na saúde pública e na qualidade de vida da população, assim como para o bem-estar dos ecossistemas (ANA, 2017).

A qualidade das águas está diretamente relacionada ao destino de sua utilização, que pode ser para a irrigação, consumo humano, geração de energia, dentre outros, como pode ser visualizado na Figura 1 (SOUZA *et al*, 2014).

A urbanização é um processo de transformação benéfico para uma nação que tende a aumentar com o crescimento econômico, alterando o perfil da renda e concentrando áreas de emprego na indústria. No Brasil, esse processo se deu especialmente em regiões metropolitanas que possuem núcleo principal com várias cidades circunvizinhas. No entanto, esse processo de modernização tende a desencadear uma série de problemáticas em infraestrutura, como a deterioração de águas superficiais por falta de tratamento de efluentes. Isso tem criado potenciais riscos ao abastecimento da população e à saúde pública, devido ao processo de eutrofização (TUCCI, 2008).

Figura 1 - Demandas do uso da água por finalidade no Brasil, em 2016



Fonte: Adaptado de ANA (2017)

Para acompanhar as condições e a qualidade do corpo d'água, técnicas de monitoramento podem ser utilizadas por meio do estudo de parâmetros (SANTOS, 2016). Esses parâmetros possuem limites previamente estabelecidos pela CONAMA 357/2005, visando monitorar sua qualidade e realizar o enquadramento conforme visto no Quadro 1. Contudo, é válido ressaltar que boa parte desses parâmetros não possuem limites estimados para a classe especial e para a classe 4, limitando o enquadramento apenas nas classes 1, 2 ou 3.

### 3.4 Parâmetros físico-químicos

#### 3.4.1 Turbidez

A turbidez da água se apresenta pela contaminação de materiais sólidos em suspensão, presença de algas ou partículas de rochas cujos depósitos podem ocorrer por meio da erosão, bem como por meio do despejo doméstico e industrial (SPERLING, 2005). Para a classe 1 da Resolução CONAMA nº 357/2005, o limite máximo é de 40 Unidades

Nefelométricas de Turbidez (UNT). As classes 2 e 3 da resolução possuem limites de 100 UNT. A classe 4, por sua vez, não possui limite para turbidez.

Embora a turbidez nem sempre represente um problema real na qualidade do recurso hídrico de estudo, em áreas urbanas uma leitura muito alta de seu valor pode refletir em despejos de fontes pontuais. Serve também de parâmetro para indicar o fluxo de nutrientes em um rio, de maneira indireta, visto que é rotineiro haver uma associação entre eles e sedimentos em suspensão. Fora isso, alguns corpos d'água apresentam variações grandes em seus padrões naturais de coloração, com reflexos na turbidez, devido à vegetação e à geologia (ANA, 2017).

### ***3.4.2 Potencial hidrogeniônico (pH)***

O pH é uma análise da medida do balanço ácido de uma determinada solução, sendo expresso como o logaritmo negativo da concentração do íon hidrogênio ( $H^+$ ). Sua escala varia de 0 a 14, em que valores abaixo de 7 e próximos a 0 o meio adquire características ácidas devido à maior concentração de  $H^+$ . Quando em situação contrária, em que se determina valores de pH acima de 7 e próximos a 14, registra-se uma diminuição de acidez da solução, devido à menor concentração de  $H^+$  e à uma maior concentração de íons hidróxidos ( $OH^-$ ) (CHAPMAN; KIMSTACH, 1996).

As suas alterações podem ocorrer de modo natural. Por exemplo, as trocas entre o ar e a água permitem a dissolução do gás carbônico ( $CO_2$ ) atmosférico, elevando bruscamente a acidez no meio hídrico. Já o desgaste natural das rochas forma bicarbonatos e íons  $OH^-$ , fazendo com que o pH de águas naturais seja levemente alcalino. Por outro lado, a presença de matéria orgânica proveniente da ação antrópica também possui boa influência nesse parâmetro, dado que sua decomposição resulta na liberação de  $CO_2$  que leva à diminuição do pH das águas, ou seja, tornando-o mais ácido (CUNHA, 2020).

Além da decomposição da matéria orgânica, os índices de pH podem ser influenciados pelo despejo de esgotos domésticos e industriais (SPERLING, 2005). Por isso, a Resolução CONAMA 357/2005 determina que o pH de corpos hídricos esteja na faixa de 6 a 9, para as 3 classes de enquadramento.

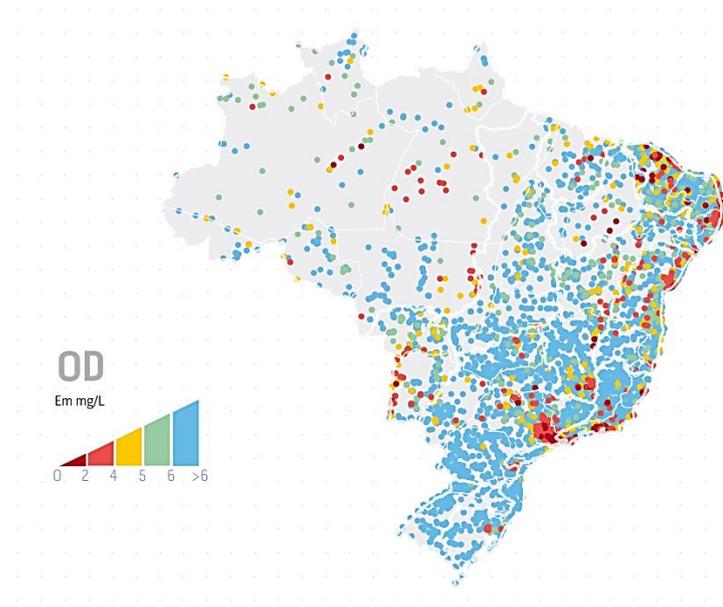
### 3.4.3 Oxigênio dissolvido (OD)

O oxigênio é um elemento envolvido em quase todos os processos químicos e biológicos. Desse modo, os ciclos de vida dos organismos aquáticos em geral e o funcionamento adequado dos ecossistemas são intrinsecamente ligados a concentração de oxigênio dissolvido na água, uma vez que seus níveis indicam a saúde desses ecossistemas. Um déficit grande de OD leva à mortandade de toda vida aquática, enquanto um nível muito alto pode revelar a contaminação por cargas orgânicas, que geralmente estão relacionadas com a DBO (ANA, 2017).

Nas cidades, as concentrações médias de OD revelam-se em situações críticas, especialmente em regiões metropolitanas. As águas superficiais urbanas recebem grandes quantidades de matéria orgânica oriundas de esgotos doméstico e industrial, que aumentam o consumo de oxigênio por microrganismos aeróbicos na estabilização da carga orgânica no meio aquático. Além disso, altos níveis de OD interferem na capacidade de autodepuração da água, comprometendo o retorno de seu equilíbrio ao estágio inicial (antes do despejo), o que resulta na mortandade de peixes (ANA, 2017). A Figura 2 revela os teores de OD de águas superficiais, obtidos através de um monitoramento realizado pela Agência Nacional das Águas (ANA) de 2001 a 2015.

A presença de um teor elevado de matéria orgânica pode comprometer a qualidade da água, tornando-a imprópria para o consumo, da mesma forma que permite a proliferação de organismos decompositores. Nesse processo, também conhecido como eutrofização, a maior consequência é a limitação do desenvolvimento natural no meio aquático, devido à falta de nutrientes e à diminuição do OD. Concentrações de OD muito abaixo dos limites mínimos confere mau odor à água e, quando eutrofizado, aumenta ainda mais a população de organismos que deplecionam o ambiente (APHA, 2015).

Figura 2 - Concentração média de OD em águas superficiais no Brasil, de 2001 a 2015



Fonte: ANA (2017)

Assim como para outros parâmetros de análise, a CONAMA 357/05 estabelece valores de OD para as classes de corpos hídricos. Na classe 1, o teor de OD não deve ser inferior a 6 mg/L. Nas classes 2, 3 e 4, os teores mínimos devem ser de 5 mg/L, 4 mg/L e 2 mg/L, respectivamente.

### 3.5 Parâmetros químicos

#### 3.5.1 Nitrogênio amoniacal ( $N-NH_3$ )

A amônia ( $NH_3$ ) é um composto pertencente à série de nitrogenados que pode estar naturalmente presente em águas superficiais, mas em baixas concentrações já que é facilmente adsorvida pelo solo ou oxidada a nitrito e a nitrato. A ocorrência de altas concentrações do composto em corpos hídricos tanto pode se dá pela poluição, uma vez que é o principal componente do esgoto sanitário oriundo da descarga de efluentes domésticos e industriais, como pelo processo de redução do íon nitrato (Reação 1), por meio de bactérias (FONSECA, 2017).



Além da perda da qualidade da água, outra implicação ecológica é que o nitrogênio na forma amoniacal presente no corpo d'água é extremamente letal para os peixes. Esse fator se deve à influência intrínseca na dinâmica do oxigênio dissolvido no meio, que diminui pela sua oxidação, representando um certo grau de toxicidade para a fauna aquática a depender de sua concentração (FONSECA, 2017; BIGUELINI; GUMY, 2012).

A temperatura e o pH da água são fatores que influenciam diretamente no equilíbrio entre a amônia ( $\text{NH}_3$ ) e sua forma ionizada ( $\text{NH}_4^+$ ), quando em solução aquosa. Quanto mais alto for o valor do pH, maior é a quantidade encontrada de  $\text{NH}_3$ , enquanto quanto menor for o pH, maior é quantidade de  $\text{NH}_4^+$  (POHLING, 2009). A Tabela 1 ilustra essa relação.

Tabela 1 - Dependência do teor de  $\text{NH}_3$  em função do pH

<b>pH</b>	<b>Teor de <math>\text{NH}_3</math> (%)</b>
<b>6</b>	0
<b>7</b>	1
<b>8</b>	4
<b>9</b>	25
<b>10</b>	78
<b>11</b>	96
<b>12</b>	100

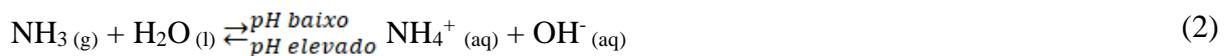
Fonte: Pohling (2009)

A sua relação de dependência com o pH do meio aquático é mostrada pela Reação 2. Nela, é possível visualizar que em pH neutro ou ácido é formada uma espécie completamente instável de  $\text{NH}_3$ , que converte-se a íon amônio. Quando em condições alcalinas, o equilíbrio da reação é deslocado de modo a favorecer a reação de formação de  $\text{NH}_3$ , em que parte dela é evaporada para a atmosfera. Por isso, diz-se que ela está em equilíbrio com o  $\text{NH}_4^+$  (DELLAGIUSTINA, 2000). Em função dessa relação, a Resolução CONAMA n° 357/2005 estabelece concentrações limites para o teste de nitrogênio amoniacal conforme o pH da água, descrito no Tabela 2.

Tabela 2 – Teor de NH<sub>3</sub> com base na faixa de pH da água de cada classe

Faixa de pH	Classes 1 e 2 em mg N/L	Classe 3 em mg N/L
pH ≤ 7,5	3,7	13, 3
7,5 < pH ≤ 8,0	2,0	5,6
8,0 < pH ≤ 8,5	1,0	2,2
pH > 8,5	0,5	1,0

Fonte: Adaptado de Resolução CONAMA n° 357/2005



### 3.5.2 Nitritos (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)

O NO<sub>2</sub><sup>-</sup> é um composto intermediário oriundo do processo de nitrificação, em que ocorre a transformação da amônia (NH<sub>3</sub>) em nitrito por bactérias, e cuja toxicidade para a saúde humana depende de sua concentração (COLT; ARMSTRONG, 1981). Devido à sua instabilidade e à fácil oxidação para nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), a presença de NO<sub>2</sub><sup>-</sup> em águas é indício de uma introdução recente ao manancial (SPERLING, 2005). Entretanto, mesmo que não haja a detecção do composto no recurso hídrico, ele ainda poderá apresentar contaminação por NH<sub>3</sub> ou por NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (POHLING, 2009).

Em águas descontaminadas, o composto em questão pode apresentar traços de até 0,001 mg NO<sub>2</sub><sup>-</sup>/L, enquanto a poluição do manancial é indicada quando a concentração do íon nitrito cai na faixa de 0,2 – 2 mg/L de NO<sub>2</sub><sup>-</sup>. Em casos em que quantidades mínimas são determinadas, não é oferecido risco a saúde humana. Entretanto, até o menor traço detectado pode comprometer a vida dos peixes em razão do seu alto nível de toxicidade (SPERLING, 2005).

Quando contaminadas com nitrito, as águas superficiais que são distribuídas para consumo humano condicionam problemas de saúde com efeitos mais rápidos e mais marcantes do que com nitrato. O consumo direto do íon NO<sub>2</sub><sup>-</sup> causa a doença metahemoglobinemia. O nitrito age na formação da metahemoglobina, a qual transporta oxigênio no sangue, impedindo a oxigenação das células do corpo. Embora a doença seja popularmente conhecida como a “síndrome do bebê azul”, ela pode ser desenvolvida em qualquer faixa etária (ALABURDA; NISHIHARA, 1998).



A CONAMA nº 357/2005 define o valor máximo de 10,0 mg/L para nitrato em águas corpos hídricos. Esse limite é imposto, pois há estudos de que o consumo de água com grandes quantidades do íon nitrato tem relação com o desenvolvimento de câncer gástrico pela formação de nitrosaminas e nitrosamidas carcinogênicas (COSTA; KEMPKA; SKORONSKI, 2017).

#### **3.5.4 Fósforo**

Para as águas superficiais, o fósforo torna-se essencial para o crescimento dos organismos aquáticos e é considerado um elemento nutriente limitante quanto a produtividade nelas (DA SILVA, 2014). Sua presença em águas naturais encontra-se na forma de fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), podendo ser determinado através do teor de fósforo total (P-total) que corresponde ao somatório de todas as suas formas, dissolvida ou particulada (MOREIRA, 2019).

É um dos principais nutrientes causadores do processo de eutrofização de águas doces. Ocorrências de fósforo em corpos d'água se dá geralmente de forma natural, como por meio do intemperismo de rochas, erosão do solo e afins. Entretanto, sua maior incidência ocorre por meio ação antrópica, seja ela por meio de despejos ou por meio da utilização de fertilizantes em práticas agrícolas (CADONA et al, 2018).

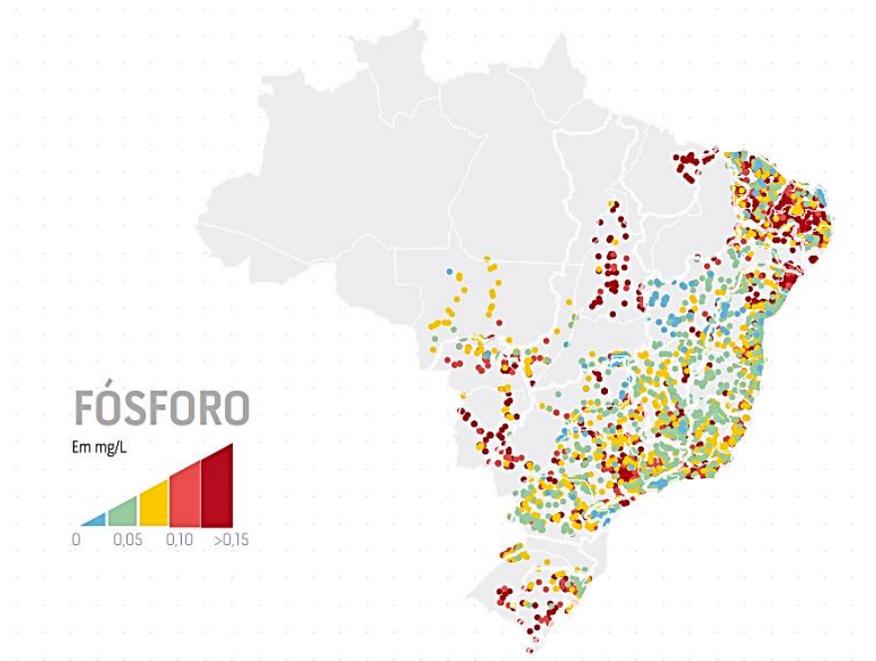
Embora seja um elemento químico que pode ser obtido naturalmente, concentrações elevadas desse elemento é um fator indicativo de poluição responsável por condições eutróficas, ou seja, pelo aparecimento desregulado de algas, que também influencia na degradação da qualidade da água. Em relação a sua disponibilidade, serve de parâmetro para estabelecer o grau da eutrofização e é imprescindível para o desenvolvimento de bactérias que agem na estabilização da matéria orgânica (MOREIRA, 2019).

Em ambientes urbanos, a poluição determinada por altos índices de fósforo se dá por meio de efluentes domésticos e industriais, dependendo da indústria. A situação é mais agravante para corpos hídricos lânticos, visto a sua grande tendência a se acumular, caracterizando um aporte excessivo desse nutriente nas águas. Em função disso, é desencadeado um crescimento exacerbado da flora aquática e o desequilíbrio dos ecossistemas (ANA, 2017).

No Brasil, os níveis de redução de fósforo são normalmente baixos em estações de esgoto. Estudos provenientes do monitoramento das águas superficiais mostraram altas concentrações de fósforo total, com destaque maior em regiões metropolitanas, no período

marcado de 2001 a 2015 (Figura 3). Em relação ao Semiárido do país, altos níveis podem ser detectados em açudes importantes para o abastecimento da população. Esses níveis tornam-se ainda mais alarmantes nos períodos de estiagem longa (ANA, 2017).

Figura 3 - Concentração média de Fósforo Total, de 2001 a 2015



Fonte: ANA (2017)

Assim como para os outros parâmetros já mencionados, a Resolução CONAMA n° 357/2005 determina sua concentração mínima permitida por lei. Contudo, a análise de P-total é a única cujo valor estimado é diferenciado conforme o seu ambiente, seja ele lótico, intermediário ou lântico. Seus teores encontram-se descritos no Tabela 3.

Tabela 3 - Teor de P-total com base no ambiente

<b>Ambiente</b>	<b>Classes 1 e 2 em mg P/L</b>	<b>Classe 3 em mg P/L</b>
<b>Lântico</b>	0,02	0,05
<b>Intermediário, com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos de ambiente lântico</b>	0,025	0,075
<b>Lótico e tributários de ambiente intermediário</b>	0,1	0,15

Fonte: Portaria CONAMA n° 357/2005

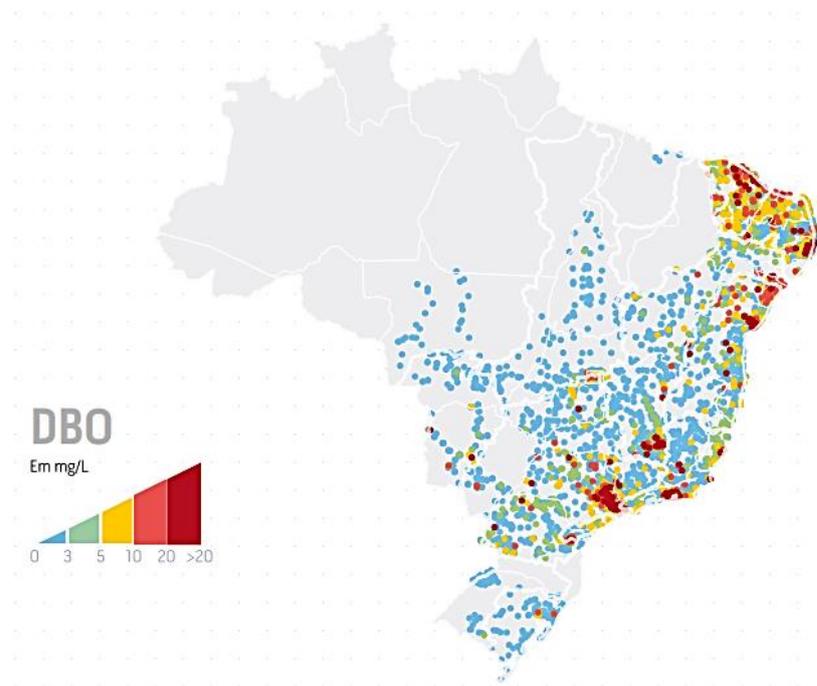
### 3.5.5 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)

A DBO é uma análise que corresponde à quantidade de gás oxigênio ( $O_2$ ) que é consumido por microrganismos aeróbicos para decompor a matéria orgânica presente na água. Ela tem como objetivo fundamental indicar a quantidade de compostos biodegradáveis na água, além de servir na quantificação do grau de contaminação orgânica em corpos hídricos e estações de tratamento (PEREIRA; OLIVEIRA; PINTO, 2010).

O aumento da DBO de águas urbanas está diretamente influenciado por cargas orgânicas que são despejadas por esgotos domésticos não tratados e por efluentes industriais, dependendo de seus processos. Em regiões metropolitanas, o chorume, proveniente do lixo, também reflete no aumento dessa demanda em águas superficiais, por ser uma fonte extremamente rica em matéria orgânica (ANA, 2017).

De acordo com um relatório do monitoramento das águas superficiais do Brasil, feito pela Agência Nacional das Águas (ANA) em 2017, alguns dos pontos que mostraram elevada DBO podem ser visualizados nos açudes nordestinos, de 2001 a 2015 (Figura 3). Além disso, estudos mostram que o devido controle de efluentes, acompanhado de tratamentos, podem reduzir os níveis dessa demanda.

Figura 4 - Concentração média de DBO no período de 2001 a 2015, nos pontos monitorados.



Fonte: ANA (2017)

A depender da classe em que o corpo hídrico da análise é enquadrado, a Resolução CONAMA 357/05 estipula a concentração máxima na análise de DBO<sub>5</sub>. Para a classe 1, o limite é de 3 mg/L, para a classe 2 de 5 mg/L e para a classe 3 10 mg/L. Na legislação, não é previsto limite máximo para a classe 4.

## 4 METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Química Ambiental (LQA) do Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTEC). Para isso, 10 amostras foram coletadas na Região Metropolitana da cidade de Fortaleza no mês de setembro de 2022. Cada amostra foi numerada de 1 a 10, como visto na Figura 5.

Figura 5 - Amostras coletadas para a realização dos ensaios



Fonte: Elaborada pela autora (2022)

Todas as coletas foram realizadas seguindo o Guia Nacional de Coleta e Preservação de Águas, Sedimentos e Efluentes da Agência Nacional de Águas (ANA, 2011). Enquanto isso, as metodologias para a realização dos ensaios encontram-se descritas no “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” da American Public Health Association (APHA, 2017). Os valores foram obtidos por meio das médias das leituras feitas em duplicatas.

## 4.1 Turbidez

As análises de turbidez de cada amostra foram conduzidas em um turbidímetro da marca Digimed/Brasil DM-TU (Figura 6). Esse equipamento foi devidamente calibrado com soluções padrões de Formazina já prontas, nas concentrações de 10, 100 e 500 UNT. Transferiu-se 25 mL da amostra para a cubeta de vidro, realizando lavagens com água destilada para descontaminação e ambientações a cada leitura. Esperou-se a estabilização do equipamento e anotou-se os valores das duplicatas.

Figura 6 - Turbidímetro DM-TU

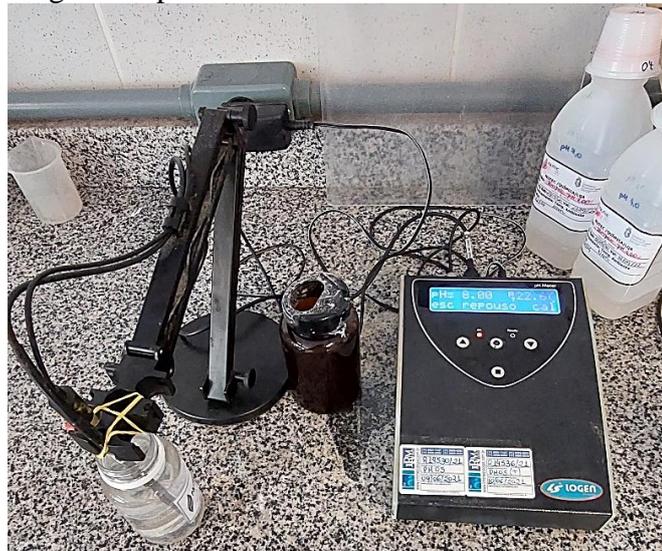


Fonte: Elaborada pela autora (2022)

## 4.2 pH

As análises de pH foram conduzidas com um pHmetro de bancada (Figura 7). Antes de executar as leituras, o equipamento foi calibrado com as soluções tampão de 4,00 e de 7,00. O eletrodo foi lavado com água destilada e secado com papel macio antes e após cada amostra. Depois de estabilizado, o valor fornecido pelo visor foi anotado.

Figura 7 - pHmetro de bancada



Fonte: Elaborada pela autora (2022)

### 4.3 N-NH<sub>3</sub>

#### 4.3.1 Procedimento

Com uma pipeta volumétrica, uma alíquota de 100 mL de amostra foi transferida para um Erlenmeyer de 500 mL. Fez-se a adição de 1 mL de Sulfato de Zinco (ZnSO<sub>4</sub>) 10% (m/v) com uma pipeta graduada, e, posteriormente, adicionou-se 5 gotas de NaOH 6 mol/L. Homogeneizou-se e aguardou-se 10 minutos, para a formação de precipitado. Em seguida, pipetou-se 10 mL do líquido sobrenadante com uma pipeta volumétrica e o transferiu para um tubo de ensaio. Adicionou-se 2 gotas da solução de sal de Rochelle, que é composto de uma solução alcoólica de Tartarato de Sódio e Potássio (KNa<sub>4</sub>H<sub>4</sub>O<sub>6</sub>•4H<sub>2</sub>O) e agitou-se. Por fim, adicionou-se aos tubos 8 gotas do reagente de Nessler (solução alcalina de Tetraiodomercurato II de potássio – K<sub>2</sub>[HgI<sub>4</sub>]) para que a coloração da solução atingisse o alaranjado translúcido. Esperou-se mais 10 minutos. Fez-se a leitura no espectrofotômetro de modelo Aquamate 8000, UV-Vis, de marca Thermo Scientific (Figura 8) cujo comprimento de onda utilizado foi de 520 nm e com cubeta de quartzo de 1 cm. Os resultados obtidos foram expressos em mg/L de N-NH<sub>3</sub>.

Figura 8 – Espectrofotômetro UV-Vis



Fonte: Elaborada pela autora (2022)

#### ***4.3.2 Curva de calibração***

A curva de calibração para a análise foi realizada no espectrofotômetro (Figura 8) cujo comprimento de onda utilizado foi de 420 nm e a cubeta de quartzo de 1 cm. Para a sua elaboração, foram realizadas diluições sequenciais da solução padrão de Cloreto de Amônio ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) nas concentrações 0,05; 0,1; 0,5; 1,0 e 2,0 mg/L de N- $\text{NH}_3$ . Por meio das absorvâncias obtidas para essas concentrações, pôde-se determinar a equação da reta e o coeficiente de correlação.

#### **4.4 N- $\text{NO}_2^-$**

##### ***4.4.1 Preparo do reagente colorimétrico***

Seu preparo foi a partir da dissolução de 1 g de N-(1-Naftil) etilenodiamina dihidroclorato e de 10 g de Sulfanilamida dissolvidos em 100 mL de ácido fosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ). A solução obtida foi diluída para 1 L de água destilada em balão volumétrico.

##### ***4.4.2 Procedimento***

Uma alíquota de 10 mL de amostra foi retirada com uma pipeta volumétrica e transferida para tubo de ensaio. 8 gotas do reagente colorimétrico, que corresponde a 0,4 mL, foram adicionadas. Homogeneizou-se e aguardou-se 10 minutos. A absorbância da amostra foi obtida pela leitura em espectrofotômetro de modelo Aquamate 8000, UV-Vis, da marca Thermo Scientific (Figura 8) com o comprimento de 520 nm. Os resultados foram obtidos em mg/L de  $\text{N-NO}_2^-$ .

#### **4.4.3 Curva de calibração**

A curva de calibração para a análise foi realizada no espectrofotômetro (Figura 8) cujo comprimento de onda utilizado foi de 520 nm e a cubeta de quartzo de 1 cm. Para a sua elaboração, foram realizadas diluições sequenciais de Nitrito de Sódio ( $\text{NaNO}_2$ ) nas concentrações 0,05; 0,1; 0,3; 0,6 e 0,9 mg/L de  $\text{N-NO}_2^-$ . Por meio das absorbâncias obtidas para essas concentrações, pôde-se determinar a equação da reta e o coeficiente de correlação.

### **4.5 $\text{N-NO}_3^-$**

#### **4.5.1 Procedimento**

Com o auxílio de uma pipeta volumétrica, retirou-se uma alíquota de 10 mL de amostra e a transferiu para um béquer de 250 mL. Fez-se a adição de 1 mL de Salicilato de Sódio ( $\text{C}_7\text{H}_5\text{O}_3\text{Na}$ ) 0,5% (m/v), com uma pipeta graduada. A solução foi aquecida a uma temperatura de 200 °C, em uma chapa aquecedora, até a completa evaporação do solvente e a formação de um sólido branco. Após deixar resfriar por 5 minutos, o sólido branco foi digerido com 2 mL de Ácido Sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) PA, cuja adição foi feita com pipeta graduada. Esperou-se mais 5 minutos e, com pipetas volumétricas, acrescentou-se 15 mL de água destilada e 15 mL de Tartarato de Sódio e Potássio ( $\text{KNa}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ). Por fim, fez-se a homogeneização e esperou esfriar. A leitura da absorbância feita no espectrofotômetro de modelo Aquamate 8000, UV-Vis, da marca Thermo Scientific (Figura 8) no comprimento de onda de 420 nm. Os resultados foram expressos em mg/L de  $\text{N-NO}_3^-$ .

#### **4.5.2 Curva de calibração**

A curva de calibração para a análise foi realizada no espectrofotômetro (Figura 8) cujo comprimento de onda utilizado foi de 420 nm e a cubeta de 1 cm. Para a sua elaboração, foram realizadas diluições sequenciais da solução padrão de Hidróxido de amônio ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) nas concentrações 0,05; 1,0; 5,0; 10,0 e 15,0 mg/L de  $\text{N-NO}_3^-$ . Por meio das absorvâncias obtidas para essas concentrações, pôde-se determinar a equação da reta e o coeficiente de correlação.

## **4.6 Fósforo**

### ***4.6.1 Preparo do reagente combinado***

Para cada 20 mL, são misturados 10 mL de Ácido Sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 2,5 mol/L, 1 mL de Tartarato de Antimônio e Potássio ( $\text{K}_2\text{Sb}_2\text{C}_8\text{H}_4\text{O}_{12}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ), 3 mL de Molibdato de Amônio ( $[\text{NH}_4]_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$ ) e 6 mL de Ácido Ascórbico ( $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ ) 0,01 mol/L.

### ***4.6.2 Procedimento***

Com uma pipeta volumétrica, foi retirada uma alíquota de 10 mL de amostra e transferida para um tubo de ensaio. A essa alíquota, foi adicionada 1 gota de indicador fenolftaleína e 0,2 mL da solução de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  5,5 mol/L. Em seguida, adicionou-se cerca de 0,8 g de Persulfato de Amônio ( $[\text{NH}_4]_2\text{S}_2\text{O}_8$ ), levando-os para autoclave por 30 minutos, a 121 °C. Depois de esfriar, foi acrescentado 1 gota de fenolftaleína, solução de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  2,5 mol/L até a descoloração e 1,6 mL de reagente combinado (com pipeta graduada). Após aguardar 10 minutos foi realizada a leitura da absorvância no espectrofotômetro de modelo Aquamate 8000, UV-Vis, da marca Thermo Scientific (Figura 8) no comprimento de onda de 880 nm, obtendo resultados em mg/L P.

### ***4.6.3 Curva de Calibração***

A curva de calibração para a análise foi realizada no espectrofotômetro (Figura 8) cujo comprimento de onda utilizado foi de 880 nm e a cubeta de 1 cm. Para a sua elaboração, foram realizadas diluições sequenciais da solução padrão de Dihidrogênio de Fosfato Potássio ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) nas

concentrações 0,05; 0,1; 0,2; 0,3 e 0,5 mg/L de mg/L P. Por meio das absorvâncias obtidas para essas concentrações, pôde-se determinar a equação da reta e o coeficiente de correlação.

## **4.7 DBO**

### ***4.7.1 Preparo do inibidor de nitrogênio***

Em uma balança analítica, pesou-se 200 mg de Alitiourea (ATU) em um béquer de 50 mL. Com o auxílio de um bastão de vidro, dissolveu-se essa massa em água destilada. Depois, a solução obtida foi diluída para 100 mL de água destilada em um balão volumétrico.

### ***4.7.2 Preparo da água de alimentação***

Utilizando uma micropipeta adicionou-se a um balão volumétrico de um litro, 1 µL das seguintes soluções: Tampão Fosfato pH 7,2 (Di-Hidrogenofosfato de Potássio -  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ - 26,22 g/L, Carbonato de sódio - $\text{Na}_2\text{CO}_3$ - 7,78 g/L, em 5 mL de Cloreto de Magnésio - $\text{MgCl}_2$ -), Cloreto de Ferro II ( $\text{FeCl}_2$ ), Cloreto de Cálcio ( $\text{CaCl}_2$ ) e de Sulfato de Manganês ( $\text{MnSO}_4$ ) em uma pequena quantidade de água destilada previamente adicionada. Após essas adições, o volume do balão foi completado com água destilada. Por fim, a solução foi mantida sob incubação a 20 °C em uma geladeira, da marca Lucadema, por 15 minutos (Figura 9).

Figura 9 – Geladeira comum destinada à DBO



Fonte: Elaborada pela autora (2022)

#### ***4.7.3 Procedimento***

No preparo das amostras foram utilizados frascos Winklers (Figura 10), cujo volume é de aproximadamente 300 mL, com diluições de 25 e 50 %, para isto foi adicionada uma pequena parte da água de alimentação, adição de 1  $\mu$ L de inibidor ATU e o volume aferido com água de alimentação até seu limite. Em seguida, os Winklers foram mantidos na incubadora por 30 minutos, também a 20 °C. Após esse tempo de incubação, fez-se a leitura do oxigênio dissolvido (OD). Encerrada a leitura de cada amostra, as vidrarias retornaram para a incubadora a fim de permanecer por mais 5 dias.

Figura 10 - Winkler padrão usado na DBO



Fonte: Elaborada pela autora (2022)

#### 4.8 OD

Para aferir o teor de oxigênio dissolvido (OD) de cada amostra, utilizou-se um oxímetro Digimed/Brasil (Figura 11). Antes de executar o ensaio, o equipamento foi devidamente calibrado simulando as condições normais de umidade com água destilada, conforme prescrito no manual do equipamento. Em seguida, seu sensor foi imergido na amostra. Após cada leitura, o sensor foi lavado com água destilada e seco, para descontaminação. Foram feitas duas leituras, a primeira, depois do período de incubação de 15 minutos no mesmo dia do preparo da amostragem e a segunda, executada após 5 dias de incubação.

Figura 11 - Equipamento oxímetro destinado para leituras de OD



Fonte: Elaborada pela autora (2022)

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Curvas de calibração

As curvas de calibração correspondem à relação gráfica entre os valores de absorvância, obtidos pelo espectrofotômetro UV-Vis, e os das concentrações das substâncias de interesse. É também por meio delas que verifica-se a linearidade entre os pontos da reta, que fornece respostas analíticas diretamente proporcionais a concentração do analito na amostra. Quanto mais linear, a concentração é determinada de forma mais precisa e mais próxima do valor real presente na amostra. Na Tabela 4, são encontradas todas as equações da reta, e seus respectivos coeficientes de correlação, obtidas para cada parâmetro químico de estudo.

Tabela 4 – Equação da reta ( $y = ax + b$ ) e  $R^2$  das curvas de calibração de cada parâmetro

<b>Parâmetro químico</b>	<b>Equação da reta</b>	<b>Coefficiente de correlação (<math>R^2</math>)</b>
N-NH <sub>3</sub>	$y = 0,2774x - 0,0216$	0,9968
N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	$y = 2,3965x + 0,1086$	0,9959
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	$y = 0,2265x + 0,1466$	0,9938
Fósforo	$y = 0,5527x + 0,023$	0,9958

Fonte: Elaborada pela autora (2022)

O coeficiente de uma curva simboliza o percentual da variação total do sinal analítico (y) explicado pela concentração do analito (x). Ambas as curvas apresentaram  $R^2$  muito próximo de 1, que representa o 100%. Portanto, elas apresentam boa linearidade, que são indícios de uma excelente precisão para as equações obtidas.

### 5.2 Parâmetros físico-químicos

#### 5.2.1 Turbidez

A turbidez pode ser admitida como um critério que influencia na comunidade biológica do meio aquático, do mesmo modo que afeta os diversos destinos que a água pode

assumir (CETESB, 2008). Para Pinto (1998), ela é classificada como sendo a alteração da luz provocada por partículas em suspensão, como bactérias ou fontes poluidoras que despejam materiais finos e outras substâncias nas águas. Com isso, a existência desses materiais ou substâncias em águas superficiais é responsável pela dispersão e absorção da luz, resultando em uma aparência nebulosa e em um aspecto indesejável para o recurso hídrico.

Na Tabela 5 estão dispostos os valores determinados para 10 amostras com os limites determinados pela Resolução CONAMA n° 357/2005 para cada classe.

Tabela 5 – Dados obtidos por Turbidimetria e seus limites estimados conforme a classe da água conforme CONAMA 357/2005

<b>Amostra</b>	<b>Turbidez (NTU)</b>	<b>Classe 1</b>	<b>Classes 2 e 3</b>
1	2,99		
2	16,6		
3	1,32		
4	60,0		
5	41,8	≤ 40	≤ 100
6	2,36		
7	15,87		
8	9,98		
9	19,56		
10	57,45		

Fonte: Elaborada pela autora (2022)

De acordo com a tabela, percebe-se que todas as amostras estão em conformidade com os limites exigidos para as classes 2 e 3. Contudo, no que se refere ao enquadramento na classe 1, as amostras 4, 5 e 10 ultrapassam o valor previsto de modo a não qualificar seus destinos para o consumo humano.

Para as 3 amostras (4, 5 e 10) que não atendam o esperado para corpos hídricos de classe 1, faz-se necessário um monitoramento quanto aos possíveis despejos de esgotos domésticos, sanitários e de efluentes industriais que estejam influenciando no aumento da turbidez dessas águas. Essa medida se faz ainda mais urgente para a localidade da amostra 10, por se tratar de um ambiente lântico, ou seja, uma água com pouca ou total ausência de

movimento. A ausência de fluxo constante impede a diluição da carga poluidora na água, comprometendo não só a qualidade de vida de muitas espécies aquáticas, como também a saúde da comunidade local.

### 5.2.2 pH

A Tabela 6 mostra o pH obtido para cada uma das 10 amostras e a faixa admitida pela Portaria do CONAMA n° 357/2005 para as 3 classes de estudo. Por meio dela, percebe-se que todas estão dentro do limite estabelecido pela Portaria para todas as classes.

Tabela 6 – Dados obtidos para pH e seus limites estimados conforme a classe da água

Amostra	pH	Classes 1, 2 e 3
1	7,99	$6 \leq \text{pH} \leq 9$
2	7,87	
3	7,77	
4	7,94	
5	7,60	
6	7,61	
7	8,22	
8	7,83	
9	8,26	
10	8,25	

Fonte: Elaborada pela autora (2022)

Mesmo em conformidade, percebe-se que as amostras 7, 9 e 10 possuem pH próximos ao limite máximo exigido para o parâmetro. Os estudos de Maranhão (2007) mostraram que o pH para águas superficiais em regiões urbanizadas tendem a ser mais elevados devido às descargas frequentes de efluentes domésticos, cujas moradias possuam localização próxima as suas margens.

Além disso, o potencial hidrogeniônico pode ser alterado por fatores ambientais, mas também é afetado pela ação antropogênica. Quando favorecida pelo enriquecimento de nutrientes como nitrogênio e fósforo, ou seja, quando são encontrados com certo grau de eutrofização, o CO<sub>2</sub> é removido pela ação de microrganismo fotossintetizantes o que eleva o

pH da água (RODA, 2018). Apesar de não extrapolar os valores permitidos, é necessário um controle das fontes poluidoras nas proximidades dos corpos hídricos referentes as 3 amostras supracitadas, especialmente na 7 e na 10 por se tratarem de ambientes lânticos.

### 5.3 Parâmetros químicos

#### 5.3.1 N-NH<sub>3</sub>

Os dados expostos na Tabela 7 seguem as concentrações limites mínimas permitidas pelo CONAMA n° 357/2005, mostradas na Tabela 2 (Seção 3.5.1).

Tabela 7 – Teor de N-NH<sub>3</sub> conforme a classe da água e suas respectivas situações de conformidade

Amostra	Teor em mg N/L	LQ	Teor permitido em mg/L	Situação	Teor permitido em mg/L	Situação
				Classes 1 e 2		Classe 3
1	6,55	0,1	2,0	<b>Não conforme</b>	5,6	<b>Não conforme</b>
2	1,10	0,1	2,0	Conforme	5,6	Conforme
3	0,63	0,1	2,0	Conforme	5,6	Conforme
4	0,52	0,1	2,0	Conforme	5,6	Conforme
5	0,58	0,1	2,0	Conforme	5,6	Conforme
6	0,48	0,1	2,0	Conforme	5,6	Conforme
7	0,53	0,1	1,0	Conforme	2,2	Conforme
8	0,54	0,1	2,0	Conforme	5,6	Conforme
9	6,42	0,1	1,0	<b>Não conforme</b>	2,2	<b>Não conforme</b>
10	0,62	0,1	1,0	Conforme	2,2	Conforme

Fonte: Elaborada pela autora (2022)

Com a análise da Tabela 7, percebe-se que as águas das amostras 1 e 9 estão gravemente acima dos limites exigidos para ambas as 3 classes, não sendo destinadas para o

consumo humano. Enquanto isso, as outras amostras podem ser enquadradas em qualquer uma das classes para essa espécie.

Braga (2006) afirma que as condições climáticas são influentes na concentração de compostos nitrogenados. Em seus estudos, o autor realiza um monitoramento realizado tanto no período seco como no chuvoso. No período seco, constatou-se uma baixa média mensal da espécie amoniacal devido ao favorecimento de sua passagem para o estado gasoso. Somente no período chuvoso que as médias são elevadas, uma vez que a água da chuva realiza o transporte dos nutrientes para o corpo d'água.

Para este trabalho, as amostras foram coletadas no mês de setembro, que configura um período marcado pela estiagem e por sensações térmicas elevadas no estado do Ceará. Ainda assim, o teor de nitrogênio amoniacal foi superior ao esperado para as duas amostras em questão. Além do mais, ambas são de corpos d'água caracterizados como ambientes lóticos, ou seja, águas bem movimentadas. Mesmo com um fluxo de água constante, ainda não é suficiente para diluir a carga poluidora com compostos nitrogenados recebida por seus ecossistemas. Com isso, é sugestivo uma poluição recorrente em suas localidades, provavelmente oriunda de efluentes domésticos ou industriais.

### 5.3.2 $N-NO_2^-$

O CONAMA 357/2005 estabelece um valor único para teores em mg  $N-NO_2^-/L$  e que deve ser seguido para a classe 1, 2 e 3. Na Tabela 8, as concentrações determinadas para as amostras encontram-se em conformidade com o estimado pela legislação.

Tabela 8 – Teor de  $N-NO_2^-$  e seus limites estimados conforme a classe da água (continua)

Amostra	Teor em mg $N-NO_2^-/L$	LQ	Classes 1, 2 e 3
1	< LQ		
2	< LQ		
3	< LQ	0,02	$\leq 1,00$
4	< LQ		
5	< LQ		
6	< LQ		

Tabela 8 – Teor de N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup> e seus limites estimados conforme a classe da água (conclusão)

Amostra	Teor em mg N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> /L	LQ	Classes 1, 2 e 3
7	< LQ		
8	< LQ		
9	0,15	0,02	≤ 1,00
10	0,03		

Fonte: Elaborada pela autora (2022)

É perceptível que os teores para essas águas estão dentro do padrão exigido por legislação, podendo ser enquadradas nas 3 classes para esse parâmetro. Entretanto, dentre todas as amostras estudadas, a 9 possui alta concentração em mg/L de N-NH<sub>3</sub> e é a maior de N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>. Ao contrário do que foi revelado pelo teste de nitrogênio amoniacal, a análise de nitritos não revela contaminação por NO<sub>2</sub><sup>-</sup> nessa região, conforme dito por Pohling (2009).

De acordo com Sperling (2005), para concluir uma poluição com essa espécie no manancial é necessária uma detecção entre 0,2 – 2,0 mg NO<sub>2</sub><sup>-</sup>/L, comprovando a ausência de poluição por essa espécie nas amostras de estudo. Contudo, o autor também ressalta que águas descontaminadas podem apresentar naturalmente concentrações traços de nitritos, mas em concentração não superior a 0,001 mg NO<sub>2</sub><sup>-</sup>/L. Com isso, a análise das águas superficiais da região metropolitana de Fortaleza revela a presença de fontes poluidoras de nitrogênio nesses corpos hídricos, cuja origem é antrópica.

Outro fato importante a ser comentado é que como se trata de uma espécie instável, o teste de NO<sub>2</sub><sup>-</sup> comprova que as fontes poluidoras são recorrentes, como visto na análise de N-NH<sub>3</sub>, e foram introduzidas de forma recente aos corpos hídricos coletados. Esse fato é justificado pela sua fácil oxidação a nitrato ou transformação a amônia, contribuindo para teores mais elevados dessas espécies enquanto os de nitritos tornam-se mais baixos (SPERLING, 2005). Já que a amostra 9 também revelou maiores teores para NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, sugere-se uma descarga recente nessa região. Logo, ressalta-se a necessidade de monitoramentos dessas fontes pontuais em sua localidade.

### 5.3.3 N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>

Do mesmo modo para Nitritos, a Resolução também estabelece um valor único para teores em mg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L e que deve ser seguido para a classe 1, 2 e 3. Na Tabela 9, estão presentes as concentrações determinadas para as amostras coletadas e, de imediato, é perceptível que todas encontram-se dentro do exigido pela Resolução de referência.

Tabela 9 – Teor de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e seus limites estimados conforme a classe da água

Amostra	Teor em mg N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L	LQ	Classes 1, 2 e 3
1	< LQ		
2	< LQ		
3	< LQ		
4	< LQ		
5	< LQ	0,3	≤ 10,00
6	< LQ		
7	< LQ		
8	< LQ		
9	0,40		
10	< LQ		

Fonte: Elaborada pela autora (2022)

Os dados da Tabela 9 mostram que a maioria das amostras coletadas da região metropolitana de Fortaleza não possuem nitratos quantificados em suas águas. Novamente, a amostra 9 possui destaque em mais um parâmetro da série nitrogenada, sendo a única com quantificação para NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

Assim como para o NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, os nitratos também podem ocorrer de forma natural e em concentrações traços (PARRON; MUNIZ; PEREIRA, 2011). Ao comparar a Tabela 9 com a 8, percebe-se que a quantificação de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> foi maior que de NO<sub>2</sub><sup>-</sup> para a amostra 9. Ambas não atribuem risco à saúde humana, porém a de nitratos revela uma possível falta de esgotamento sanitário na região (ANA, 2017). Contudo, não é descartada a possibilidade dos nitritos existente nesse corpo hídrico estarem sendo convertidos a nitrato. Por isso, a urgência de um monitoramento urgente para essa região.

### 5.3.4 Fósforo

Em geral, os parâmetros físico-químicos e químicos possuem concentrações limites diferenciadas conforme a classe de enquadramento. Entretanto, o fósforo é o único parâmetro que possui teores estimados com distinção quanto ao ambiente ou ao ecossistema do recurso hídrico. Em função disso, a apresentação dos resultados obtidos para esse parâmetro será dividida em ambientes lóticos e em lênticos. As cinco primeiras (de 1 até 5) e 9 são rios, portanto, pertencem ao conjunto de ambientes lóticos. Já as amostras restantes (6, 7, 8 e 10) representam os ambientes lênticos, por se tratar de lagoas.

#### 5.3.4.1 Ambientes lóticos

As concentrações de P-total determinadas encontram-se dispostas na Tabela 10. Através da visualização dessa tabela, pôde-se determinar sua situação de conformidade com as classes descritas pela Resolução de referência.

Tabela 10 – Teor de fósforo nas amostras e seus limites conforme a classe da água, para ambientes lóticos

Amostra	Teor em mg P/L	LQ	Teor permitido em mg/L	Situação	Teor permitido em mg/L	Situação
				Classes 1 e 2		Classe 3
1	< LQ			Conforme		Conforme
2	< LQ			Conforme		Conforme
3	< LQ	0,15	0,1	Conforme	0,15	Conforme
4	< LQ			Conforme		Conforme
5	< LQ			Conforme		Conforme
9	< LQ			Conforme		Conforme

Fonte: Elaborada pela autora (2022)

Por meio da análise da tabela 10, nota-se que todos os corpos hídricos classificados em ambientes lóticos encontram-se abaixo do limite de quantificação (LQ) para o parâmetro, podendo ser enquadrado em todas as classes. Trabalhos da literatura, como o de

Prado, Kozak, Fernandes (2013, p. 6), constataram que a utilização do método da digestão ácida para P-total sem o devido ajuste do pH não é capaz de detectar traços do elemento nos corpos hídricos analisados. Entretanto, neste trabalho, o pH foi ajustado a fim de manter a condição ácida o suficiente para a formação do complexo azul.

Mesmo adequando todas as condições para a análise, o fósforo ainda não foi detectado pelo equipamento. Com isso, sugere-se a ausência de despejos de esgotos sanitários com a presença de substâncias superfosfatadas, como o detergente doméstico, em suas margens ou proximidades. Outro fator de interesse e contribuinte para a detecção desse parâmetro é a condição climática. O período da seca em que as amostras foram coletadas favorece os baixos teores de P-total existentes, visto que a ausência de escoamento provocado pela chuva impede seu transporte do solo para as águas superficiais.

#### 5.3.4.2 Ambientes lânticos

Com a Tabela 11, tem-se os dados experimentais obtidos para o parâmetro fósforo de ambientes lânticos. Observa-se que todas as amostras desse ambiente estão conforme os limites estabelecidos pelo CONAMA 357/2005 para as classes 1, 2 e 3.

Tabela 11 – Teor de fósforo nas amostras e seus limites conforme a classe da água, para ambientes lânticos

Amostra	Teor em mg P/L	LQ	Teor permitido em mg/L	Situação	Teor permitido em mg/L	Situação
				Classes 1 e 2		Classe 3
6	< LQ			Conforme		Conforme
7	< LQ	0,15	0,02	Conforme	0,05	Conforme
8	< LQ			Conforme		Conforme
10	< LQ			Conforme		Conforme

Fonte: Elaborada pela autora (2022)

Essa situação de conformidade com a legislação era esperada, pois segundo Farage *et al* (2010) o aumento do aporte desse parâmetro se dá por meio do mecanismo de escoamento superficial, que ocorre em períodos chuvosos. Já Lampareli (2004), em seu estudo comparativo entre ambientes lóticos e lânticos, confirmou que rios são portadores de

maiores concentrações de fósforo devido à alta relação entre o volume de água e região marginal, além da velocidade das águas ser superior que a de lagos ou de lagoas. Assim, este trabalho encontra-se em acordo com o trabalho desse autor da literatura, visto que não constatou-se teores de P-total para ambientes lênticos em relação aos lóticos.

Em relação à terceira classe de ambiente, os intermediários com tributários de ambientes lênticos (Tabela 3), percebe-se que as 10 amostras também estão conforme seus limites estabelecidos pelo CONAMA 357.

### 5.3.5 DBO e OD

A Tabela 12 mostra os valores obtidos de DBO para as 10 amostras e o valor permitido por legislação para as 3 classes de interesse, seguindo a Resolução CONAMA nº 357/2005.

Tabela 12 – Teor das amostras e seus limites estimados conforme a classe da água

<b>Amostra</b>	<b>Teor em mg O<sub>2</sub>/L</b>	<b>Classe 1 em mg O<sub>2</sub>/L</b>	<b>Classe 2 em mg O<sub>2</sub>/L</b>	<b>Classe 3 em mg O<sub>2</sub>/L</b>
1	0,28			
2	1,12			
3	0,38			
4	3,28			
5	7,2			
6	4,16	≤ 3	≤ 5	≤ 10
7	6,36			
8	4,14			
9	8,28			
10	4,16			

Fonte: Elaborada pela autora (2022)

Através da avaliação dos dados expostos na tabela, percebe-se que todas as amostras estão dentro do permitido para classe 3. No entanto, somente as amostras 1, 2 e 3 estão conforme o exigido pela Portaria para a classe 1, tornando-se perceptível a presença de

poluição por carga de matéria orgânica no restante das amostras da região. Por fim, para a classe 2, as amostras 5, 7 e 9 ultrapassam a concentração limite em mg O<sub>2</sub>/L, enquanto 6, 8 e 10 estão bem próximo do limite máximo.

Segundo Bega *et al.*, (2020), dados elevados de DBO em corpos hídricos é sinônimo de despejo de resíduos orgânico, provocando o esgotamento do oxigênio dissolvido e a perda de espécies aquáticas. Para Maranhão (2007), por mais que a DBO não seja um parâmetro em que se pode caracterizar a poluição por alguns tipos de indústrias, ela serve de indício do comprometimento das condições aquáticas.

Das amostras de ambientes lóticos (ver seção 5.2.4) que ultrapassam o esperado para o enquadramento na primeira e na segunda classe, 5 e 9 são indícios de maior poluição orgânica decorrente de lançamentos de efluentes domésticos ou industriais. Em razão disso, a situação é preocupante, dado que uma DBO alta faz com que o oxigênio do meio aquático seja rarefeito. Com isso, aumenta-se as condições anaeróbicas pelo declínio de oxigênio, o que tende a retardar a decomposição da matéria orgânica, resultando em fortes odores, destruição de vários microrganismos e a mortandade de inúmeras espécies de peixes (MARANHÃO, 2007). Esse fato não só afeta o equilíbrio do ecossistema aquático, como também provoca sérios prejuízos à qualidade da água.

Dos ambientes lênticos (ver seção 5.2.4), a única amostra que mostra indícios de maior aporte de matéria orgânica na água é a 7. Em comparação com as amostras 5 e 9, esperava-se valores maiores para o lêntico, pois as águas dos lóticos aumentam a disponibilidade de O<sub>2</sub> pela agitação constante da corrente de água. Os valores de DBO dos ecossistemas lóticos 5 e 9 mostram que o OD deplecionou mais em 5 dias do que o do lêntico, ressaltando a sobrecarga de matéria orgânica nas águas desses rios pela diferença nos teores de oxigênio.

## 6. CONCLUSÃO

Diante dos resultados obtidos para todos os ensaios realizados, nota-se que para o enquadramento na classe 1 da Resolução CONAMA nº 357/2005 3 amostras não atendem ao limite exigido para turbidez. Em relação ao parâmetro DBO, 7 amostras não se encontram em conformidade com o limite estimado para a classe 1, enquanto 3 amostras excedem a concentração máxima exigida para a classe 2. O ensaio de nitrogênio amoniacal mostrou que a situação de poluição é agravante para 2 amostras, já que ambas não se enquadram em nenhuma classe. Por fim, os parâmetros de pH, nitritos, nitratos e fósforo se adequam as classes da Resolução de referência para todas as amostras.

Das 10 amostras, todas apresentam uma qualidade comprometida pela ação antrópica, consequência do processo de urbanização na região. Dessa ação, o principal exemplo é a emissão de efluentes nas águas, que podem conter a presença de compostos nitrogenados e de matéria orgânica. Apesar do monitoramento dos despejos ser essencial em toda a localidade de onde fez-se as amostragens, ressalta-se a urgência para as 2 amostras cujos teores de nitrogênio amoniacal foram de 6,55 e de 6,42 mg N/L. Esses teores revelam a deterioração de seus ecossistemas aquáticos, por estarem acima do que é permitido por legislação com base nos pHs de suas águas.

Quanto ao grau de poluição, as que apresentam maior aporte de poluição são as 3 amostras que apresentaram maiores concentrações de DBO. Embora poluídas, a análise de P-total comprova a ausência do processo de eutrofização nesses corpos hídricos, já que seus teores não puderam ser quantificados por estarem abaixo de 0,15 mg P/L, que é o LQ. Ainda assim, ambas são impróprias para o consumo humano das comunidades locais que vivem em suas proximidades.

Assim foi possível analisar os parâmetros físico-químicos e químicos das amostras de águas superficiais localizadas na região metropolitana de Fortaleza. Por meio delas, verificou-se que apenas 2 amostras encontram-se dentro dos padrões de qualidade estabelecidos pelo CONAMA 357/2005 para todas as 3 classes de enquadramento, além de que nenhum dos corpos hídricos de estudo estão em estado de eutrofização.

## REFERÊNCIAS

- ALABURDA, J.; NISHIHARA, L. Presença de compostos de nitrogênio em águas de poços. **Revista de Saúde Pública**, v. 32, p. 160-165, 1998.
- ANDRADE, E. M.; ARAÚJO, L. F.; ROSA, M. F.; DISNEY, W.; ALVES, A. B. Seleção dos indicadores da qualidade das águas superficiais pelo emprego da análise multivariada. **Engenharia agrícola**, v. 27, p. 683-690, 2007.
- ANA, Agência Nacional De Águas. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2017**: relatório pleno. Brasília: ANA, 2017.  
Disponível em: < <https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/relatorio-conjuntura-2017.pdf/view>>. Acesso em: 22 out. 2022.
- ANJOS GARCIA, E. N.; MORENO, D. A. A. C.; FERNANDES, A. L. V. A importância da preservação e conservação das águas superficiais e subterrâneas: um panorama sobre a escassez da água no Brasil. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 11, n. 6, 2015.
- ANTÓN, A.; LIZASO, J. Nitritos, nitratos y nitrosaminas. **Fundación Ibérica para la Seguridad Alimentaria. Madrid, España**, 2001.
- BATISTA, A. A.; MEIRELLES, A. C. M.; ANDRADE, E. M.; PALÁCIO, H. A. Q. Parâmetros interferentes na eutrofização das águas superficiais do Açude Orós, Ceará. **Revista Caatinga**, v. 26, n. 2, p. 1-8, 2013.
- BEGA, J. M. M.; RIBEIRO, N. U. F.; ALMEIDA, J. C. R.; RICARDI, A. M.; de OLIVEIRA, J. N. Avaliação dos parâmetros químicos de qualidade da água em um ecossistema aquático lótico. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 16, n. 1, 2020.
- BIGUELINI, C. P.; GUMY, M. P. Saúde ambiental: índices de nitrato em águas subterrâneas de poços profundos na região sudoeste do Paraná. **Revista faz ciência**, v. 14, n. 20, p. 153-153, 2012.
- BRAGA, E. A. S. **Determinação dos compostos inorgânicos nitrogenados (amônia, nitrito e nitrato) e fósforo total, na água do açude gavião, e sua contribuição para a eutrofização**. 2006. 120 p. Dissertação (Mestre em Eng. Civil) - Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, CE, 2006.
- CADONÁ, E.; LOURENZI, C. R.; de SOUZA, E. L.; RAMPINELLI, E. C.; dos SANTOS, M. L.; SETE, P. B.; SOARES, C. R. F. S. Contaminação por nitrogênio e fósforo de águas destinadas ao consumo humano em região com intensa atividade suinícola. **Geosciences= Geociências**, v. 37, n. 4, p. 883-891, 2018.
- CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Básico. **Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas e dos Sedimentos e Metodologias Analíticas de Amostragem**. São Paulo, 2008; 41p. (Séries relatórios).

CHAPMAN, D.; KIMSTACH, V. Selection of water quality variables. In: CHAPMAN, D. (Ed.). *Water quality assessments - a guide to use of biota, sediments and water in environmental monitoring*. 2.ed. London: UNESCO/WHO/UNEP, 1996. p.74-133.

COLT, J. E.; ARMSTRONG, D. A. Nitrogen toxicity to crustaceans, fish and mollusks. In: Allen LJ, Kinney EC, editors. *Proceedings of the Bioengineering Symposium for fish Culture*. Bethesda (MA): Fish Culture Section of the American Fisheries Society; 1981. p. 34-47.

COSTA, A. F. S.; TEIXEIRA, C. M.; SILVA, C. S.; DO NASCIMENTO, J. A.; OLIVEIRA, M. M.; QUEIROZ, Y. O.; SILVA, M. J. Recursos hídricos. **Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-SERGIPE**, v. 1, n. 1, p. 67-73, 2012.

COSTA, D. D.; KEMPKA, A. P.; SKORONSKI, E. A contaminação de mananciais de abastecimento pelo nitrato: o panorama do problema no Brasil, suas consequências e as soluções potenciais. **REDE-Revista Eletrônica do PRODEMA**, v. 10, n. 2, 2017.

CUNHA, A. C. **Modelo matemático de avaliação do processo de autodepuração da matéria orgânica em reservatórios: uma ferramenta de gestão**. 2020. 140f. Dissertação (Doutorado em Tecnologia) - Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), São Paulo, 2020.

SILVA, M. A. Análise de fósforo e dco em amostras de águas naturais no município de Guarulhos. **Revista Educação-UNG-Ser**, v. 9, n. 2 ESP, p. 71, 2014.

DELLAGIUSTINA, A. **Determinação das concentrações de nitrogênio e fósforo dissolvidos em diferentes locais do rio Itajaí-Açu**. 2000. 92 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2000.

FARAGE, J. A. P.; DE MATOS, A. T., DA SILVA, D. D.; BORGES, A. C. Determinação do índice de estado trófico para fósforo em pontos do rio Pomba. **Revista Engenharia na Agricultura-REVENG**, v. 18, n. 4, p. 322-329, 2010.

FONSECA, A. L. **Determinação do índice de nitrato, nitrito e nitrogênio amoniacal na água da lagoa de extremoz/RN**. 2017. 48p. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), 2017.

Garcez”, L. D. (2004). *Manual de procedimentos e técnicas laboratoriais voltado para análises de águas e esgotos sanitário e industrial*. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

GONÇALVES, K. F.; COSTA, R. O. S.; PEREIRA, C. S.; GOMES, M. V. M.; NEU, V.; HATANI, F. H. Comparação físico-química entre água de ambiente lântico e a água de ambiente lótico. p. 759-768. São Paulo: **Blucher**, 2017. ISSN 2357-7592, DOI 10.5151/xveneeamb-076.

KITSIOU, D.; KARYDIS, M. Coastal marine eutrophication assessment: a review on data analysis. **Environment International**, v.35, p. 778-801, 2011.

LAMPARELI, M. C. **Grau de trofia em corpos de água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento**. São Paulo: USP, 2004. 207f. (Tese de doutorado).

- LANNA, A. E. *“Economia e Recursos Hídricos: Parte I”*. Rio Grande do Sul: IPH - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, 2001. 167p.
- MARANHÃO, R. A. Impactos da ocupação urbana e qualidade das águas superficiais na microbacia de Val-de-Cães (Belém/PA). *Caminhos de Geografia*, Uberlândia v. 12, n. 38 150 p, jun., 2007.
- MARAVALHO, D. E. C. **Determinação voltamétrica de Nitrato e Nitrito usando eletrodo de Cobre**. 2018. 39f. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Maranhão (UFMA), 2018.
- MELO, C. I. P.; CARVALHO, J. C.; CAMARGOS, L. D. M.; FILGUEIRAS, J. A. R. **Glossário de termos relacionados à gestão de recursos hídricos**. Publicação específica para a I Oficina do Sistema Estadual de Informações sobre Recursos Hídricos, 2008.
- MOREIRA, K. J. B. **Jardins flutuantes e a variação de fósforo total em açudes urbanos eutrofizados**. 2019. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande (PB), 2019. 55p.
- OLIVEIRA, E. J. A.; ROSSATO, M. V. Água—bem maior da humanidade. **Revista Eletrônica de Contabilidade**, v. 3, n. 1, p. 20-20, 2006.
- PARRON, L. M.; MUNIZ, H. F.; PEREIRA, C. M. Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água. Embrapa Florestas-Documents (INFOTECA-E), 2011.
- PEREIRA, G. A.; OLIVEIRA, G. H.; PINTO, A. L. Avaliação da eficiência da utilização do oxigênio dissolvido como principal indicador da qualidade das águas superficiais da bacia do córrego Bom Jardim, Brasilândia/MS. **Revista Geomae**, v. 1, n. 1, p. 69-82, 2010.
- PINTO, A. L. **Saneamento Básico e suas Implicações na Qualidade das Águas Subterrâneas da Cidade de Anastácio (MS)**. 1998. 175p. Tese (Doutorado e Geociências) – Universidade Estadual Paulista/Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 1998.
- POHLING, R. **Reações químicas na análise de água** Fortaleza: Arte visual, 2009. 334p.
- PRADO, L. L.; KOZAK, C.; FERNANDES, C. V. S. **Desafios da química ambiental e a gestão da qualidade da água: uma visão crítica a partir do fósforo total**. In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013, Rio Grande do Sul.
- REPOLHO, M. F. F. **Determinação do teor de fósforo em águas superficiais pelo método de espectrofotometria na região do UV-Vis**. 2022. 37 p. Monografia (Graduação em Química Industrial) - Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Amazonas, 2022.
- RODA, A. M. **Influência de atividades antropogênicas sobre alguns parâmetros na qualidade de Água da Lagoa Azul - Nicoadala**. 2018. 36 p. Monografia (Licenciatura em Química Marinha) - Universidade Eduardo Mondlane (UEM), Quelimane, 2018.
- SANTOS, J. M. B. Análise da qualidade e quantidade de água do ribeirão Espírito Santo. 2016.

SILVA, M. A. Análise de fósforo e dco em amostras de águas naturais no município de Guarulhos. **Revista Educação-UNG-Ser**, v. 9, n. 2 ESP, p. 71, 2014.

SOUZA, J. R.; MORAES, M. E. B.; SONODA, S. L.; SANTOS, H. C. R. G. A importância da qualidade da água e os seus múltiplos usos: caso Rio Almada, sul da Bahia, Brasil. **REDE-Revista Eletrônica do Prodeema**, 2014.

SPERLING, M. V. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 2005. Vol. 1. 3° ed. 452p.

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 1-16, 2008. DOI <https://doi.org/10.1590/S0103-40142008000200007>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/SfqYWrhrvkxybFsjYQtx7v/>. Acesso em: 22 out. 2022.

VEIGA, B V. **Fatores intervenientes na dinâmica do fósforo em ambientes lênticos- investigação sobre o Reservatório de Alagados no Estado do Paraná**. 2010. 114p. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo (USP), 2010.