



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

GIULLIANA MARIA DANTAS MURINELLI

**ANÁLISE DA CONFORMIDADE E VARIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE
QUALIDADE DA ÁGUA DISTRIBUÍDA PELA ETA GAVIÃO 2023 -2024**

FORTALEZA

2025

GIULLIANA MARIA DANTAS MURINELLI

ANÁLISE DA CONFORMIDADE E VARIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE
DA ÁGUA DISTRIBUÍDA PELA ETA GAVIÃO 2023-2024

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Ambiental do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Graduada em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. José Carlos Alves Barroso Júnior

FORTALEZA

2025

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)

- M954a Murinelli, Giulliana Maria Dantas.
Análise da conformidade e variação dos parâmetros de qualidade da água distribuída pela ETA Gavião 2023-2024 / Giulliana Maria Dantas Murinelli. – 2025.
53 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Ambiental, Fortaleza, 2025.
Orientação: Prof. Dr. José Carlos Alves Barroso Júnior.
1. Estação de tratamento de água. 2. Índice de qualidade da água. 3. ETA Gavião. 4. Conformidade dos parâmetros da qualidade da água. I. Título.

CDD 628

GIULLIANA MARIA DANTAS MURINELLI

ANÁLISE DA CONFORMIDADE E VARIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE
DA ÁGUA DISTRIBUÍDA PELA ETA GAVIÃO 2023-2024

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Ambiental do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Graduada em Engenharia Ambiental.

Aprovado em: 07/03/2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Carlos Alves Barroso Júnior (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Eng. Francisco de Assis Parente de Araújo Filho
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Me. Danylo de Andrade Lima
Universidade Federal do Ceará (UFC)

“Our faith is a living thing precisely because it walks hand in hand with doubt. If there was only certainty, and if there was no doubt, there would be no mystery, and therefore no need for faith”

HARRIS, *Conclave*, 2025

AGRADECIMENTOS

Agradeço, antes de tudo, a mim mesma. Pelos momentos de dúvida e incerteza que enfrentei, mas também pela perseverança que me fez seguir em frente, conciliando desafios, sonhos e minha carreira como Designer. Essa conquista é fruto de muita dedicação e resiliência.

Agradeço a Deus, pela vida, pela força nos momentos difíceis e por todas as bênçãos que me guiaram até aqui. Sou grata por cada desafio superado e por cada conquista alcançada.

Aos meus pais, Inete Dantas e Giovanni Murinelli, que sempre me apoiaram e fizeram de tudo para que eu pudesse estudar. Mãe, a senhora me ensinou, desde cedo, que o estudo é a chave para transformar sonhos em realidade, e que a idade é um mero detalhe.

À minha irmã, Dra. Giovanna Murinelli, que sempre me mostrou, com seu exemplo, que desistir não é uma opção. Sua força e determinação me ensinaram a continuar, mesmo quando o caminho parecia difícil.

Aos meus grandes amigos, Francisco de Assis, Brenda Nunes, Vitória Delfino e Davi Belezia, que estiveram ao meu lado nos momentos bons e ruins. Vocês tornaram essa jornada mais leve, significativa e cheia de boas lembranças. Sem vocês, tudo teria sido muito mais difícil. As jogatinas de UNO e de burro no 707, as risadas no auditório de matemática, as idas a Geologia para almoçar, a viagem para Icapuí, as tardes no ICA... e tantas outras memórias que vou guardar com carinho pelo resto da minha vida. Vocês são parte fundamental dessa história, e sou imensamente grata por cada momento que vivemos juntos.

Ao meu orientador, Prof. Dr. José Carlos Barroso, pela paciência, orientação e apoio ao longo deste trabalho. Sua dedicação foi essencial para que eu pudesse concluir essa etapa com sucesso.

RESUMO

O fornecimento de água potável no Brasil enfrenta desafios significativos, como a deterioração da qualidade dos mananciais e as variações climáticas, que podem comprometer a eficiência dos sistemas de tratamento. A crescente demanda por água de qualidade, aliada à necessidade de atender aos padrões de potabilidade cada vez mais rigorosos, exige uma gestão eficiente e proativa dos sistemas de abastecimento. Este trabalho tem como objetivo avaliar a conformidade e a variação temporal dos parâmetros de qualidade da água distribuída pela Estação de Tratamento de Água (ETA) Gavião, localizada no município de Pacatuba, Ceará, com base em relatórios mensais dos anos de 2023 e 2024. A metodologia incluiu a análise de dados fornecidos pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE), com foco em parâmetros como turbidez, cor, pH, cloro residual, coliformes totais e *Escherichia coli*. Os resultados indicaram que a maioria das amostras atendeu aos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021. No entanto, foram observadas variações sazonais nos parâmetros de turbidez e cor, influenciadas por fatores climáticos, como chuvas intensas e ventos fortes. Essas variações destacam a necessidade de ajustes operacionais durante períodos de maior instabilidade climática. Concluiu que, embora a ETA Gavião mantenha um sistema de tratamento eficiente, a implementação de medidas proativas, como o monitoramento integrado de dados meteorológicos e a manutenção preventiva da rede de distribuição, é essencial para garantir a qualidade contínua da água distribuída a população.

Palavras-chave: Estação de Tratamento de Água; Índice de Qualidade da Água; ETA Gavião; conformidade.

ABSTRACT

The provision of drinking water in Brazil faces significant challenges, such as the deterioration of water sources and climatic variations, which can compromise the efficiency of treatment systems. The increasing demand for quality water, coupled with the need to meet increasingly stringent potability standards, requires efficient and proactive management of water supply systems. This study aims to evaluate the compliance and temporal variation of water quality parameters in the water distributed by the Gavião Water Treatment Plant (WTP), located in the municipality of Pacatuba, Ceará, based on monthly reports from 2023 and 2024. The methodology included the analysis of data provided by the Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE), focusing on parameters such as turbidity, color, pH, residual chlorine, total coliforms, and *Escherichia coli*. The results indicated that most samples met the potability standards established by the Ministry of Health's Ordinance GM/MS No. 888/2021. However, seasonal variations in turbidity and color parameters were observed, influenced by climatic factors such as heavy rainfall and strong winds. These variations highlight the need for operational adjustments during periods of greater climatic instability. It was concluded that, although the Gavião WTP maintains an efficient treatment system, the implementation of proactive measures, such as integrated monitoring of meteorological data and preventive maintenance of the distribution network, is essential to ensure the continuous quality of the water distributed to the population.

Keywords: Water Treatment Plant; Water Quality Index; ETA Gavião; Water Quality Parameters; Compliance.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CAGECE	Companhia de Água e Esgoto do Ceará
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
ETA	Estação de Tratamento de Água
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IQA	Índice de Qualidade da Água
IQAB	Índice de Qualidade da Água Bruta
IQANSF	Índice de Qualidade da Água National Sanitation Foundation
IQETA	Índice de Qualidade da Estação de Tratamento de Água
NBR	Norma Brasileira
POP	Procedimento Operacional Padrão
PUCPR	Pontifícia Universidade Católica do Paraná
SIBI	Sistema Integrado de Bibliotecas
trad.	tradução

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Índices de Qualidade da Água: Análise cronológica a nível mundial abordando diversos parâmetros e mananciais de água.	5
Tabela 2 – Classificação do pH da água	10
Tabela 3 – Classificação da dureza da água	11
Tabela 4 – Classificação das Águas Doces	11
Tabela 5 – Classificação das Águas Salinas e Salobras.	12
Tabela 6 – Significado dos parâmetros monitorados	23
Tabela 7 – Parâmetros analisados da rede de distribuição no período de 01/01/2023 a 31/12/2023	27
Tabela 8 – Parâmetros analisados da rede de distribuição no período de 01/01/2024 a 31/12/2024.	29
Tabela 9 – Porcentagem de Não Conformidade por Parâmetro da Rede de Distribuição e Mês ao longo de 2023.	32
Tabela 10 – Porcentagem de Não Conformidade por Parâmetro da Rede de Distribuição e Mês em 2024	35

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de Localização do Parque Estadual das Águas - ETA Gavião	14
Figura 2 – ETA Gavião	19
Figura 3 – Localização da ETA Gavião	19
Figura 4 – Sistema Taquarão	20

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	2
1.1	Objetivo Geral	3
1.2	Objetivos Específicos	3
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1	Abastecimento e Qualidade da Água: Uma Visão Geral	4
2.2	Surgimento e Iniciativas para a Avaliação da Qualidade da Água: Índices de Qualidade da Água a Nível Mundial	4
2.3	Caracterização da Avaliação do Desempenho da Estação de Tratamento de Água	12
2.4	Descrição Histórica do Abastecimento de Água no Ceará	13
3	METODOLOGIA	17
3.1	Classificação da Pesquisa	17
3.2	Área de Estudo	18
3.2.1	A Rede de Distribuição da ETA Gavião	20
3.3	Pesquisa Documental	21
3.4	Índices de Qualidade da Água (IQA) e da Água Bruta (IQAB) para avaliar uma ETA	22
3.5	Parâmetros de Qualidade da Água Avaliados na ETA Gavião	23
3.6	Coleta de Dados	25
3.6.1	Análise dos Dados	25
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	31
4.1	Limitações na Aplicação do IQA e IQAB	31
4.2	Discussões sobre os dados coletados	31
4.3	Ano de 2023	31
4.3.1	Conformidade dos Parâmetros em 2023	31
4.3.2	Análise dos Principais Parâmetros em Não Conformidade em 2023	34
4.4	Ano de 2024	34
4.4.1	Conformidade dos Parâmetros em 2024	34
4.4.2	Análise dos Principais Parâmetros em Não Conformidade em 2024	36
4.5	Comparação Temporal: 2023 e 2024	37
5	CONCLUSÃO	39

1 INTRODUÇÃO

O fornecimento de água potável no Brasil enfrenta desafios cada vez maiores, especialmente diante do aumento das exigências regulatórias, da deterioração da qualidade dos mananciais e das limitações tecnológicas das estações de tratamento. Segundo Talarico (2016), essa situação exige que os prestadores de serviços adotem uma postura proativa na adaptação dos sistemas de tratamento às novas demandas regulatórias. Muitas Estações de Tratamento de Água (ETAs) operam em capacidade máxima, sem expansão proporcional da infraestrutura, o que agrava os problemas relacionados à qualidade da água e à eficiência dos tratamentos realizados.

A regulação do desempenho das ETAs no Brasil é feita com base na Portaria nº 888, de 04 de maio de 2021, do Ministério da Saúde, que estabelece os padrões de potabilidade para o consumo humano. No entanto, a avaliação da qualidade da água distribuída não se limita apenas aos parâmetros estabelecidos pela legislação, mas também considera as variações sazonais e os fatores externos que podem influenciar a qualidade da água ao longo da rede de distribuição.

Neste estudo, foi realizada uma análise da conformidade e da variação temporal dos parâmetros de qualidade da água distribuída pela Estação de Tratamento de Água (ETA) Gavião, localizada no município de Pacatuba, Ceará. A ETA Gavião é uma das principais unidades de tratamento da região metropolitana de Fortaleza, responsável pelo abastecimento de aproximadamente 60% da população atendida pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE). Segundo relatórios da Cagece (2023), a estação opera com uma vazão média de 1,1 m³/s, tratando água proveniente do Açude Gavião, que enfrenta desafios como a presença de matéria orgânica e sedimentos, especialmente durante períodos de chuvas intensas e ventos fortes.

A pesquisa se baseou em relatórios mensais fornecidos pela CAGECE para os anos de 2023 e 2024, com foco nos parâmetros físico-químicos e microbiológicos, como turbidez, cor, pH, cloro residual, coliformes totais e *Escherichia coli*. As amostras foram coletadas em pontos estratégicos da rede de distribuição, o que permite avaliar a qualidade da água desde a saída da ETA até os pontos de consumo. Segundo dados da Agência Nacional de Águas (ANA, 2023), cerca de 35% das ETAs no Nordeste enfrentam problemas relacionados à qualidade da água bruta, o que reforça a importância de estudos como este para identificar e mitigar os impactos das variações sazonais e operacionais.

O objetivo principal foi avaliar a conformidade dos parâmetros de qualidade da água em relação aos padrões de potabilidade estabelecidos pela legislação vigente, identificando possíveis variações sazonais e fatores externos que possam influenciar a qualidade da água ao longo da rede de distribuição. A análise reforça a importância do monitoramento constante e da adaptação dos processos de tratamento às condições ambientais, garantindo o monitoramento da qualidade da água distribuída a população.

1.1 Objetivo Geral

- Avaliar a conformidade dos parâmetros da qualidade da água distribuída pela ETA Gavião, considerando os padrões de potabilidade estabelecidos pela legislação vigente e as possíveis influências externas ao longo da rede de distribuição.

1.2 Objetivos Específicos

- Analisar a conformidade dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos da rede de distribuição de água da ETA Gavião.;
- Avaliar e quantificar os parâmetros que apresentam não conformidade;
- Avaliar as possíveis causas para as variações observadas nos parâmetros analisados;
- Analisar a conformidade dos parâmetros entre os anos de 2023 e 2024.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Abastecimento e Qualidade da Água: Uma Visão Geral

A água é um recurso natural essencial para a vida e o desenvolvimento de qualquer sociedade, desempenhando um papel central não apenas na saúde humana, mas também nas atividades econômicas, na agricultura e na preservação dos ecossistemas. No entanto, o crescimento populacional, a urbanização acelerada e a poluição têm causado uma necessidade maior sobre os recursos hídricos disponíveis, tornando a gestão e a garantia da qualidade da água desafios cruciais para governos e instituições em todo o mundo (SILVA, 2020).

Em áreas urbanas, o abastecimento de água potável é geralmente garantido por sistemas de tratamento de água, que visam tornar a água bruta adequada para o consumo humano. A Estação de Tratamento de Água (ETA) Gavião, que abastece grande parte da cidade de Fortaleza, é um exemplo desse tipo de sistema, sendo responsável por aproximadamente 60% do fornecimento de água tratada no município (CAGECE, 2021).

Contudo, garantir a disponibilidade de água em quantidade suficiente e a qualidade da água são fatores determinantes para a saúde pública. De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), cerca de 80% das doenças em países em desenvolvimento estão relacionadas a ingestão de água contaminada ou à falta de saneamento básico adequado (OMS, 2019).

Com a crescente preocupação em relação a preservação dos recursos hídricos, novas políticas e estratégias têm sido adotadas para monitorar e proteger as fontes de água, com ênfase na redução da poluição e no tratamento adequado dos efluentes.

Dessa forma, a importância de controlar a qualidade da água se reflete diretamente no planejamento de políticas públicas que visam a sustentabilidade e a preservação dos mananciais para as futuras gerações.

2.2 Surgimento e Iniciativas para a Avaliação da Qualidade da Água: Índices de Qualidade da Água a Nível Mundial

De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA), o Índice de Qualidade das Águas (IQA) foi desenvolvido em 1970 pela National Sanitation Foundation, nos Estados Unidos, com base em uma pesquisa de opinião com especialistas em qualidade da água. Desses especialistas, nove variáveis foram selecionadas, entre as 35 inicialmente propostas,

como principais indicadores, levando em conta a condição de cada parâmetro em uma escala de valores e seu peso relativo. O IQA foi adotado pela primeira vez no Brasil pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) em 1975 e, nas décadas seguintes, outros estados brasileiros também passaram a utilizá-lo.

Inicialmente, o IQA era empregado exclusivamente para avaliar a qualidade da água bruta destinada ao abastecimento público, com foco nos indicadores de contaminação por esgotos residenciais. Com o tempo, o IQA se consolidou como o principal índice para medir e classificar a qualidade da água tratada pelas Estações de Tratamento de Água (ETAs). (CETESB, 2021)

Em se tratando da medição da qualidade da água, TALARICO, 2016 afirma que:

(...) O cenário do abastecimento de água potável no Brasil é desafiador, devido à crescente demanda por água de qualidade, aos padrões de potabilidade cada vez mais rigorosos, a deterioração da qualidade da água nos mananciais e as limitações tecnológicas de muitos sistemas de tratamento.

Essa complexidade exige dos prestadores dos serviços de abastecimento de água posturas mais proativas no que tange a adequação e enquadramento dos sistemas às novas exigências impostas. Muitas dessas Estações de Tratamento de Água - ETA enfrentam problemas de sobrecarga hidráulica, consequência do aumento da demanda de água potável, não acompanhada da ampliação das unidades, além das dificuldades na tratabilidade da água, advinda do decaimento da qualidade da água nos mananciais de abastecimento. (TALARICO, 2016, p.21).

Por isso, é fundamental que as agências de abastecimento de água respondam de forma clara e objetiva as demandas relacionadas ao tratamento adequado da água.

A National Sanitation Foundation (NSF), ao elaborar a tabela mundial que descreve os índices de qualidade da água, faz uso de informações a nível mundial. Entretanto, é preciso levar em consideração, ao realizar uma análise, o local, as limitações e a própria água a ser analisada (NSF, 1970). Esses aspectos são fundamentais para uma avaliação precisa, como demonstrado na Tabela 1, que apresenta uma análise cronológica dos índices de qualidade da água desenvolvidos em diferentes partes do mundo:

Tabela 1 – Índices de Qualidade da Água: Análise cronológica a nível mundial abordando diversos parâmetros e mananciais de água.

Ano	Autor	Finalidade	Algumas características
1965	Horton	Índice numérico para avaliação geral da qualidade da água.	Definido com dez variáveis mais utilizadas na época, dentre elas: oxigênio dissolvido (OD), potencial do hidrogênio (pH), coliformes, condutividade elétrica, alcalinidade, cloreto e o extrato de clorofórmio de carbono.

Ano	Autor	Finalidade	Algumas características
1970	Brown et al.	Representa o nível de qualidade de água de uma determinada bacia hidrográfica, num lago, rio ou córrego.	Índice de Qualidade da Água da National Sanitation Foundation (IQANSF); Parâmetros: coliformes termotolerantes (CTE), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), OD, fósforo total, temperatura, pH, turbidez, sólidos dissolvidos totais e nitrato; Produtório Ponderado.
1971	Prati, Pavanello e Persarin	O Índice Implícito de Poluição de Prati classifica a qualidade da água no manancial em cinco categorias que variam de excelente (1) a altamente poluído (>8).	Baseia-se nos sistemas de classificação da qualidade de água utilizados em países da Europa e Estados Unidos. Parâmetros: pH, OD, carbono orgânico dissolvido, sólidos em suspensão, amônia, nitrato, cloreto, ferro, manganês e surfactantes. Composto por equações lineares, não lineares e funções para variação de cada parâmetro.
1972	Dinus	Avalia a qualidade da água superficial.	Sistema para avaliação da qualidade da água com 11 parâmetros de qualidade; O cálculo se baseia no somatório ponderado dos subíndices determinados através de funções matemáticas.
1974	Landwehr e Deininger	Representa o nível de qualidade de água de uma determinada bacia hidrográfica, num lago, rio ou córrego.	Forma multiplicativa para o IQA da IQANSF com a intenção de evitar eventuais problemas de resultados mascarados, que ocorriam quando um subíndice apresentava valores extremamente baixos de qualidade de água – os pesos tornam-se potências dos subíndices.
1975	CETESB	IQACETESB é utilizado como ferramenta de avaliação da qualidade da água superficial, principalmente, nos casos dessa ser utilizada no abastecimento público.	Composto por nove variáveis consideradas relevantes para a avaliação da qualidade da água, sendo: pH, OD, CTO, DBO5, sólidos totais, temperatura, turbidez, nitrogênio total e fósforo total.

Ano	Autor	Finalidade	Algumas características
1977	Carlson	Avaliação da qualidade da água em mananciais em função do nível trófico.	O Índice de Estado Trófico (IET) foi adaptado por Lamparelli (2004) e, posteriormente, pela CETESB (2007); parâmetros: fósforo total e clorofila a; Fórmula algébrica.
1980	Oregon Department of Environmental Quality	Avaliação da qualidade da água para usos gerais como: recreação, pesca e esportes aquáticos.	O Índice de Qualidade da Água do Oregon (OWQI) é composto de oito variáveis de qualidade da água: temperatura, OD, DBO, pH, amônia e nitratos, fósforo total, sólidos totais e CTE.
1984	Lohani et al.	Avaliação da qualidade da água do rio Chao Phraya, Tailândia.	Utiliza as técnicas de análises de agrupamento por seções poluídas e não poluídas; Análise de fator principal e análise de regressão.
1987	Dinus	Avaliação da qualidade das águas superficiais.	Melhoramento do IQA proposto por Dinus (1972) utilizando a formulação multiplicativa para agregação dos parâmetros de qualidade; incorporação de parâmetros que indicam poluição.
1989	Smith	Avaliação da qualidade da água na Nova Zelândia para diversos usos: natação, abastecimento, criação de peixes e uso geral.	Forma não ponderada (todos os parâmetros que compõe o índice têm igual importância); parâmetros: pH, OD, coliformes, DBO5, temperatura, turbidez e amônia.
1989	House	Monitoramento da qualidade da água de rios no Reino Unido.	Utilizou quatro índices de qualidade da água independentes: IQA geral, Potable Water Supply Index (PWSI), o Índice de Toxicidade Aquática (ATI) e o Potable Sapidity Index (PSI).
1992	Wepener et al.	Avaliação da condição de ecossistemas aquáticos sendo voltado para a proteção da vida aquática.	Aquatic Toxity Index (ATI) utiliza os parâmetros: pH, OD e turbidez, amônia, sais dissolvidos, flúor, potássio, ortofosfatos e metais potencialmente perigosos como zinco, manganês, cromo e níquel.
1994	Dojlido et al.	Avaliação da qualidade da água a partir de funções baseadas em padrões de qualidade estabelecidos pelo Ministério do	Sugeriram uma fórmula da raiz quadrada do número de parâmetros considerados pelo somatório do inverso do quadrado de cada parâmetro unitário; parâmetros básicos utilizados: DBO, sólidos em suspensão, fosfatos, amônia, sólidos dissolvidos, DQO, OD; parâmetros adicionais são: Fe, fenóis, nitrogênio

Ano	Autor	Finalidade	Algumas características
		Meio Ambiente da Polônia.	orgânico, dureza, Mn, pH, SO_4^{2-} , Cl^- , DQO, NO_3^- , Pb, Hg, Cu, Cr total, Zn, Cd, Ni, CN^- .
1995	SAFE (Strategic Assessment of Florida's Environmental)	Avaliação da qualidade da água na Florida.	Florida Stream Water Quality Index (FWQI); elaborado a partir da média aritmética dos parâmetros: turbidez, OD, DBO5, DQO, COT, fósforo, nitrogênio e CTE.
1998	Mattos	Avaliação da qualidade da água na região do alto curso da Bacia do Rio das Velhas.	Índice específico desenvolvido para o Rio das Velhas; usado o IQANSF através de análise de regressão polinomial.
1999	CETESB	Avaliação da qualidade das águas para fins de proteção da fauna e da flora em geral.	Índice de Preservação da Vida Aquática (IVA); parâmetros: pH, OD, teste de toxicidade, metais, fenóis, surfactantes, fósforo e clorofila a.
2000	Swamee e Tyagi	Avaliação da qualidade da água do Rio Ganges na Índia a partir de índice de poluição agregado.	Proposta de um conjunto de equações para agregação de subíndices de parâmetros de qualidade da qualidade da água, a fim de facilitar a adaptação aos programas de computador, evitando eclipse e ambiguidade.
2001	Canadian Council of Ministers of the Environment	Avaliação da qualidade da água em um dado trecho de um rio.	CCME é um índice para avaliação da qualidade da água baseado em três fatores: alcance (F1), frequência (F2) e amplitude (F3) dos teores permitidos para os parâmetros analisados.
2001	Cude	Propõe uma avaliação geral da qualidade da água no manancial.	O OWQI – Oregon Water Quality Índice se baseia no índice da NSF para avaliação geral da qualidade da água, utilizando adicionalmente sistemas de informações geográficas (GSI).
2002	Curcic e Comic	Avaliação da qualidade microbiológica da água do reservatório de Gruza que abastece a cidade de Kragujevac –Jugoslávia.	Índice microbiológico para a avaliação das águas superficiais (mIQA); parâmetros: coliformes totais, bactérias heterotróficas, Escherichia coli (E. coli) intensidade de atividade fosfatase (IPA), concentração de clorofila a.
2002	Sargaonkar e Deshpande	Avaliação do estado de qualidade das	Índice Geral de Poluição de Águas Superficiais para o Research Institute National Environmental Engineering;

Ano	Autor	Finalidade	Algumas características
		águas superficiais no contexto indiano.	parâmetros: turbidez, cor, OD, sólidos totais dissolvidos, dureza, Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , coliformes totais (CTO), arsênio e flúor.
2002	CETESB	Avaliação da qualidade das águas superficiais para fins de abastecimento público.	IAP - Índice de Qualidade das Águas Brutas para Fins de Abastecimento Público; produto da ponderação dos resultados atuais do IQA- CETESB e do Índice de Substâncias Tóxicas e Organolépticas (ISTO); parâmetros: temperatura, pH, OD, DBO, E. coli ou CTE, Nitrogênio Total, Fósforo Total, Sólidos Totais, Turbidez, Fe, Mn, Al, Cu, Zn, Cd, Pb, Cr Total, Hg, Potencial de Formação de Trihalometanos, Densidade de Cianobactérias (Ambiente Lêntico) e Ni.
2004	Said et al.	Avaliação da qualidade da água em riachos	Índice para avaliar a qualidade da água em riachos, usando os seguintes parâmetros: OD, CTE, turbidez, fósforo total, condutividade específica.
2005	Lopes	Avaliação da qualidade da Estação de Tratamento de Água de Ciclo Completo.	O Índice de Qualidade da ETA (IQETA) é composto basicamente por parâmetros hidráulicos da ETA distribuídos nas etapas do tratamento de água sendo: coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção, além de dois parâmetros operacionais.
2006	Sarkar & Abbasi	Avaliação da qualidade da água a partir de um software Qualidex.	Desenvolveram um software para gerar um índice de qualidade da água (Qualidex); Os índices incluídos no Qualidex foram: Oregon Walter Quality Index, Aquático Toxicity Index, Dinius Water Quality Index, Overall Index of Pollution e Water Quality Index of Central Pollution Control Board.
2007	UNEP GEMS/ Water	Avaliação geral da qualidade das águas.	Índice global da qualidade da água desenvolvido para atender metas se desenvolvimento do milênio, baseado na proposta do CCME WQI (Canadá).
2008	Souza	Avaliação da qualidade da água bruta que aflui a ETA de ciclo completo.	O Índice de Qualidade da Água Bruta (IQAB) integra oito parâmetros habitualmente monitorados nas ETA, sendo: turbidez, cor verdadeira, pH, cianobactérias, algas ou clorofila a, E. coli, Fe e Mn; está fundamentado na tratabilidade da água em ETA de ciclo completo; o cálculo do índice pode ser

Ano	Autor	Finalidade	Algumas características
			realizado pelas formulações do somatório e ou do produtório.

Fonte: Adaptado de ANDRADE et al. (2005); SILVA E JARDIM (2006); SOUZA (2008); PESSOA (2010); ALMEIDA (2012); WEINBERG (2013).

Esses índices, como o IQA da National Sanitation Foundation (NSF, 1970) e o IQACETESB (CETESB, 1975), destacam a importância de adaptar as metodologias de avaliação conforme as características locais e os objetivos específicos de cada estudo. No entanto, ao analisar o IQA de uma amostra, seja ela proveniente de uma estação de tratamento, manancial ou rios, é fundamental levar em conta os índices universais previamente mencionados.

O índice de qualidade da água é uma ferramenta composta por parâmetros químicos, biológicos e físicos que são essenciais para a avaliação da qualidade da água. Assim, ele se torna um recurso quantitativo capaz de mensurar a qualidade da água por meio de estudos e análises (CETESB, 2021).

Entre os parâmetros químicos avaliados no IQA, pode-se destacar o potencial hidrogeniônico (pH), que representa o equilíbrio entre íons H^+ e OH^- na água. O pH ideal para a maioria dos usos varia entre 6,0 e 9,0, com valores abaixo de 6,0 indicando acidez e acima de 9,0 indicando alcalinidade (Tabela 2) (CETESB, 2021; ANA, 2023).

Tabela 2 – Classificação do pH da água

pH	Indicação
0 - 6	Ácido
7	Neutro
8 - 11	Alcalino
12 - 14	Fortemente Alcalino

Fonte: CETESB (2021);

O índice de qualidade da água também leva em consideração a alcalinidade e a dureza da água, que são influenciadas pela presença de sais alcalinos, cálcio, magnésio e outros metais bivalentes. A dureza da água pode variar de acordo com a quantidade desses minerais presentes, conforme demonstrado na Tabela 3 (CETESB, 2021; ANA, 2023).

Tabela 3 – Classificação da dureza da água

Dureza da água (mg/l CaCO₃)	Classificação
Menor que 50	Água mole
entre 50 e 150	Água com dureza moderada
entre 150 e 300	Água dura
maior que 300	Água muito dura

Fonte: CETESB (2021).

Além disso, o Índice de Qualidade da Água (IQA) avalia outros compostos presentes na água, como cloretos, ferro, manganês, nitrogênio e fosfatos. Esses parâmetros são essenciais para determinar a qualidade da água, e os valores máximos de impurezas permitidos variam conforme a finalidade de uso, garantindo que a água atenda aos padrões de potabilidade estabelecidos pela legislação (BRASIL, 2005).

No Brasil, a classificação da qualidade da água é regulamentada pela Resolução CONAMA nº 357/2005, que estabelece diretrizes para o enquadramento dos corpos hídricos em diferentes classes. Essa classificação é dividida em nove categorias, sendo cinco destinadas ss águas doces (salinidade inferior a 0,5%) e quatro classes especiais para águas salinas e salobras (salinidade igual ou superior a 0,5%). Conforme a CETESB (2021), essa divisão em classes visa garantir que a água atenda aos padrões de qualidade necessários para seus diversos usos, como consumo humano, irrigação, recreação e preservação ambiental.

A Tabela 4, adaptada da Resolução CONAMA nº 357/2005, apresenta as classes de águas doces e seus usos permitidos. Já a Tabela 5, também baseada na mesma resolução, detalha as classes de águas salinas e salobras. Ambas são fundamentais para compreender como a qualidade da água é classificada e quais são os usos adequados para cada tipo de corpo hídrico.

Tabela 4 – Classificação das Águas Doces

Classe	Descrição	Usos permitidos
Classe especial 1	Águas de alta qualidade, destinadas ao abastecimento para consumo humano	Abastecimento humano com simples desinfecção.
Classe 1	Águas que exigem tratamento convencional para consumo humano.	Abastecimento humano após tratamento convencional.

Classe	Descrição	Usos permitidos
Classe 2	Águas adequadas para recreação e proteção de comunidades aquáticas	Recreação de contato primário (natação), irrigação de hortaliças e proteção de comunidades aquáticas.
Classe 3	Águas que exigem tratamento avançado para consumo humano.	Abastecimento humano após tratamento avançado e irrigação de culturas
Classe 4	Águas com qualidade limitada, destinadas a usos menos exigentes.	Navegação, harmonia paisagística e usos industriais.

Fonte: Resolução CONAMA nº 357/2005

Tabela 5 – Classificação das Águas Salinas e Salobras.

Classe	Descrição	Usos permitidos
Classe 1	Águas adequadas para recreação e proteção de comunidades aquáticas.	Recreação de contato primário (natação) e proteção de comunidades aquáticas.
Classe 2	Águas adequadas para recreação e proteção de comunidades aquáticas	Pesca e recreação de contato secundário (passeios de barco).

Fonte: Resolução CONAMA nº 357/2005

2.3 Caracterização da Avaliação do Desempenho da Estação de Tratamento de Água

A avaliação do desempenho de Estações de Tratamento de Água (ETA) é amplamente discutida na literatura. De acordo com Gil (2002), estudos de avaliação de desempenho envolvem a análise de dados operacionais e de qualidade da água, baseados em metodologias específicas. O uso de índices como o Índice de Qualidade da Água Bruta (IQAB) e o Índice de Qualidade da Estação de Tratamento de Água (IQETA) tem sido apontado como uma prática eficaz para mensurar a eficiência das estações de ciclo completo (Talarico, 2016).

Talarico (2016) apresenta um estudo relevante sobre a aplicação desses índices, especialmente o IQAB, que considera parâmetros como cor, turbidez e demanda bioquímica de oxigênio (DBO) para avaliar a qualidade da água antes do tratamento. O IQA, mede a qualidade da água tratada com base em variáveis como pH, cloro residual e turbidez. O uso

combinado desses índices permite uma avaliação eficaz do desempenho das estações de tratamento, garantindo que a água final atenda aos padrões de potabilidade exigidos pela legislação brasileira (CETESB, 2021).

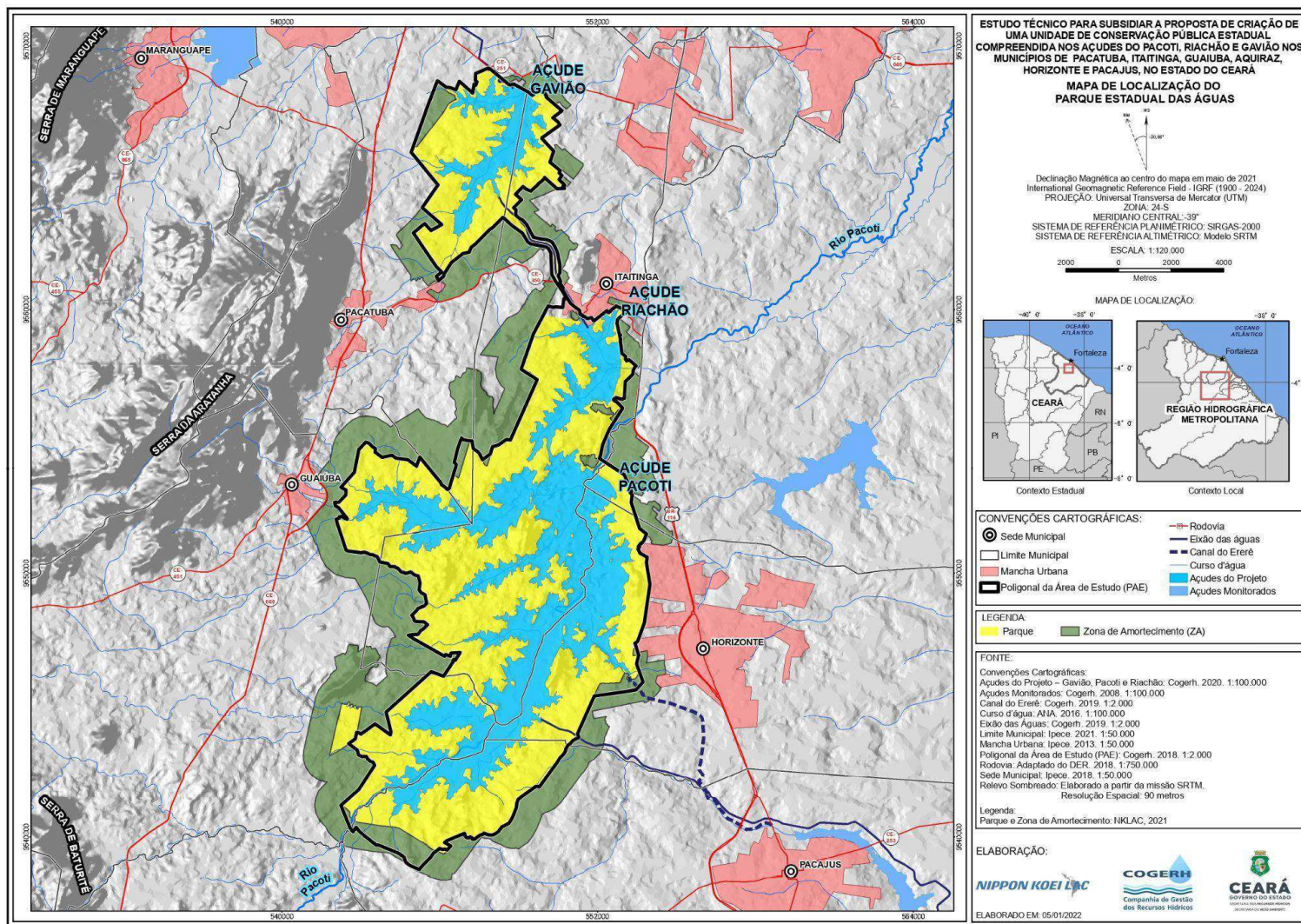
Dentre as principais normas que regulamentam a qualidade da água, destacam-se a Portaria de Consolidação nº 5/2017 do Ministério da Saúde, que estabelece os padrões de potabilidade para o consumo humano, e a Portaria GM/MS nº 888/2021, que atualiza os parâmetros microbiológicos e físico-químicos. Além disso, a Resolução CONAMA nº 357/2005 define os critérios para o lançamento de efluentes e a classificação dos corpos d'água (BRASIL, 2005; BRASIL, 2017; BRASIL, 2021).

Diversos estudos adotam essa abordagem para avaliar a eficiência das ETAs em diferentes regiões do Brasil. Além do trabalho de Talarico (2016), outras pesquisas como as de Silva e Almeida (2012) também utilizam índices de qualidade para analisar a capacidade das ETAs de remover poluentes e garantir o fornecimento de água potável à população. A aplicação desses índices auxilia na identificação de áreas de melhoria e otimização dos processos de tratamento, contribuindo para a sustentabilidade e eficiência dos sistemas de abastecimento de água (Souza, 2008; CAGECE, 2023).

2.4 Descrição Histórica do Abastecimento de Água no Ceará

Em 1971, o governo do Estado do Ceará passou a ser liderado pelo engenheiro e militar César Cals de Oliveira Filho, que também foi o responsável pela fundação da Cagece no mesmo ano. A Cagece, uma empresa de economia mista, foi estabelecida pela Lei nº 9.499, de 20 de julho de 1971. Atualmente, a rede de abastecimento de água no Ceará cobre mais de 97% do estado, com 99,29% em Fortaleza e 97,79% no interior, dado que só foi possível de ser alcançado pelo papel crucial da Cagece na construção de açudes (CAGECE, 2023). Em 1981, a empresa inaugurou o Canal Riachão-Gavião, projetado para assegurar o abastecimento de água para a Região Metropolitana de Fortaleza, que envolveu a transferência de água do Sistema Pacoti-Riachão para o Açude Gavião. O Ceará foi pioneiro na transmissão de águas entre sub-bacias, e a ETA Gavião, inaugurada nesse contexto, tornou-se uma das principais unidades de tratamento da região (Figura 1) (GOVERNO DO CEARÁ, 2022).

Figura 1 – Mapa de Localização do Parque Estadual das Águas - ETA Gavião



Fonte: Governo do Estado do Ceará (2022)

Com base no Decreto de nº 10.154, de 30 de janeiro de 1973, o então governador do estado de Ceará, Adauto Bezerra, afere que “(...)destinar-se-á uma área de 35,13 km² no município de Pacatuba como de utilidade pública, para a construção do Açude Gavião”.

Mediante a determinação do então governo, foi dado durante a sua gestão o desenvolvimento do sistema de abastecimento de água da cidade de Fortaleza e da sua região metropolitana. A este respeito o Decreto de nº 11.310/1973 avalia que:

(...) tornou de utilidade pública uma área de 160 km² abrangendo os municípios de Pacatuba, Redenção e Aquiraz, destinada à construção dos açudes Riachão e Pacoti, ambos parte do Sistema Pacoti. (DECRETO Nº 11.310/1973, Art. 1º).

Durante o governo de Adauto Bezerra, novas áreas foram destinadas, por meio de decretos, para ampliar o sistema de distribuição de água através da construção de açudes. O novo decreto promulgado pelo então governador determina, especificamente:

(...) tornando de utilidade pública uma área de 6.769 km² nos municípios de Horizonte, Pacajus e Chorozinho. A área foi destinada à construção do Açude Pacajus, à proteção ambiental de sua bacia hidráulica e à implementação das obras de transposição das águas do Sistema Aracoiaba-Choró para o Sistema Pacoti-Riachão-Gavião. (DECRETO Nº 21.824, Art. 1º).

Dando continuidade, o governador Ciro Gomes no ano de 1993, inicia a construção da Estação Elevatória de Água e do Canal de Transposição das águas do Rio Jaguaribe para o Açude Pacajus, chamado então de Canal do Trabalhador, declarado por meio de um novo decreto:

(...) declarado de utilidade pública uma área de 2.248,56 km², que abrangia terrenos dos municípios de Cascavel, Beberibe, Chorozinho, Aracati, Itaiçaba e Palhano. (DECRETO nº 22.545, publicado em 18 de maio de 1993).

Este novo decreto abrange terrenos dos municípios de Cascavel, Beberibe, Chorozinho, Aracati, Itaiçaba e Palhano.

A distribuição de água do município de Fortaleza é garantida por meio do(s) manancial(ais) denominado(s) açudes que conforme o relatório anual da CAGECE hoje é formado pelos seguintes pontos:

Pacajús e Pacoti/Riachão/Gavião pertencentes à Bacia Metropolitana; Açude Castanhão pertencente à Bacia do Médio Jaguaribe; Açude Banabuiú pertencente à Bacia do Banabuiú e Açude Orós pertencente à Bacia do Alto Jaguaribe, além de um reforço adicional do Rio Jaguaribe, através do Canal do Trabalhador para o Açude Pacajús, e da eventual transposição do Rio São Francisco, através do Eixão das águas. Para tornar-se apropriada ao consumo humano, entretanto, a(s) água(s) deste(s) manancial(ais) precisa(m) ser submetida(s) a um tratamento de forma a adequá-la(s)

ao padrão de potabilidade estabelecido pelo Anexo XX, da Portaria GM/MS nº 888/2021. (RELATÓRIO ANUAL REFERENTE AO ANO DE 2023).

Em relação ao tratamento estabelecido pelo Anexo XX, da Portaria GM/MS nº 888/2021, descrita pela CAGECE é realizado na Estação de Tratamento de Água (ETA), passando pelos processos de adição de produtos químicos, filtração e desinfecção com cloro. A desinfecção tem por objetivo garantir a destruição de organismos causadores de doenças.

Nos dias de hoje, a vazão média fornecida é da ordem de 26.170,5 m³/h de água potável, atendendo as exigências do Ministério da Saúde (CAGECE, 2023).

Após o tratamento, a água é armazenada em 5 (cinco) reservatórios com capacidade total de 190.200 m³. A partir dessa etapa, a água é levada por gravidade para a distribuição fazendo o uso de tubulações de PVC, F^oF^o, CA, DEF^oF^o e PRFV, com diâmetros variando de 600 mm a 32 mm (CAGECE, 2023).

A distribuição do sistema de abastecimento de água de Fortaleza compreende uma malha de 4.336.090,43 metros de rede o que garante um índice de cobertura de 99,61% (CAGECE, 2023).

Os reservatórios em uso são lavados e desinfetados frequentemente e na rede de distribuição são executadas descargas periódicas para assegurar que a água distribuída não sofra alterações da qualidade (CAGECE, 2023).

3 METODOLOGIA

3.1 Classificação da Pesquisa

Este trabalho foi desenvolvido com base em uma pesquisa aplicada, exploratória e documental, utilizando uma abordagem qualitativa e quantitativa. A pesquisa aplicada busca gerar conhecimento que possa ser utilizado para resolver problemas concretos, direcionando seus esforços para situações específicas e com foco na aplicação prática dos resultados (Gil, 2002). Neste caso, o estudo teve como objetivo avaliar a conformidade dos parâmetros de qualidade da água distribuída pela ETA Gavião, visando identificar possíveis melhorias no sistema de tratamento e distribuição. A análise dos dados permitiu não apenas quantificar a conformidade da água em relação aos padrões de potabilidade, mas também compreender as causas das variações observadas, contribuindo para a melhoria contínua do sistema.

A pesquisa exploratória foi escolhida por permitir uma investigação inicial sobre o tema, fornecendo uma visão geral da qualidade da água distribuída pela ETA Gavião. Segundo Gil (1991), pesquisas exploratórias são adequadas para estudos que buscam familiarizar-se com um problema, identificar padrões e gerar hipóteses para futuras investigações. Neste trabalho, a abordagem exploratória permitiu uma análise preliminar dos dados disponíveis, identificando tendências sazonais e fatores que influenciam a qualidade da água ao longo da rede de distribuição. Essa etapa foi fundamental para compreender as variações nos parâmetros de turbidez, cor, cloro residual, coliformes totais e *Escherichia coli*, especialmente em relação a fatores externos, como chuvas intensas e ventos fortes.

A metodologia baseou-se na análise de relatórios técnicos fornecidos pela CAGECE, que contém dados sobre a qualidade da água distribuída nos anos de 2023 e 2024. A pesquisa documental é uma abordagem adequada para estudos que utilizam fontes secundárias de dados, como relatórios, documentos e registros oficiais (Gil, 2002). Neste caso, os relatórios mensais e anuais da CAGECE foram fundamentais para garantir a análise dos parâmetros de qualidade da água. A pesquisa documental permitiu uma análise crítica dos dados disponíveis, os relacionando aos padrões normativos e ao desempenho da ETA Gavião.

A abordagem qualitativa e quantitativa foi adotada para garantir uma análise abrangente e contextualizada. A análise quantitativa foi utilizada para avaliar a conformidade dos parâmetros de qualidade da água com base nos dados numéricos fornecidos pela CAGECE. Já a abordagem qualitativa permitiu uma interpretação crítica dos resultados, considerando fatores externos, como condições climáticas e operacionais, que podem

influenciar a qualidade da água ao longo da rede de distribuição. Segundo Manzato e Santos (2012), a integração de métodos qualitativos e quantitativos permite uma compreensão mais ampla dos fenômenos estudados, evitando visões simplificadas ou divididas. Essa combinação de métodos foi essencial para alcançar os objetivos propostos no trabalho, garantindo uma análise robusta e contextualizada.

Em resumo, a classificação da pesquisa reflete a natureza do estudo, que busca não apenas quantificar a conformidade dos parâmetros de qualidade da água, mas também compreender as causas das variações observadas e propor melhorias para o sistema de tratamento e distribuição. A combinação de métodos e abordagens permitiu uma análise abrangente e contextualizada, alinhada aos objetivos propostos no trabalho.

3.2 Área de Estudo

A presente pesquisa, originada durante o curso de Graduação em Engenharia Ambiental na Universidade Federal do Ceará (UFC), busca analisar a conformidade e a variação temporal dos parâmetros de qualidade da água distribuída pela Estação de Tratamento de Água (ETA) Gavião, em Fortaleza. Esta foi escolhida como objeto de estudo devido a sua importância estratégica, sendo responsável por cerca de 60% do abastecimento de água da cidade fornecida pela CAGECE. Inaugurada em 1981, a ETA Gavião se destaca como a maior da América Latina a utilizar a tecnologia de filtração direta descendente, que reduz o número de etapas e melhora a eficiência ao não incluir a decantação.

A ETA Gavião, responsável pelo abastecimento das cidades de Fortaleza, parte da Caucaia, Itaitinga, Pacatuba, Aquiraz, Eusébio, Maranguape e Maracanaú, opera com uma vazão de 1,1 m³/s, com potencial de expansão para até 5 m³/s. Segundo o supervisor local, a estação utiliza um sistema de reúso de água, garantindo o aproveitamento total do recurso. A tecnologia de dupla filtração e a Estação de Tratamento de Resíduos Gerados (ETRG) permitem o tratamento e reúso da água utilizada na lavagem dos filtros.

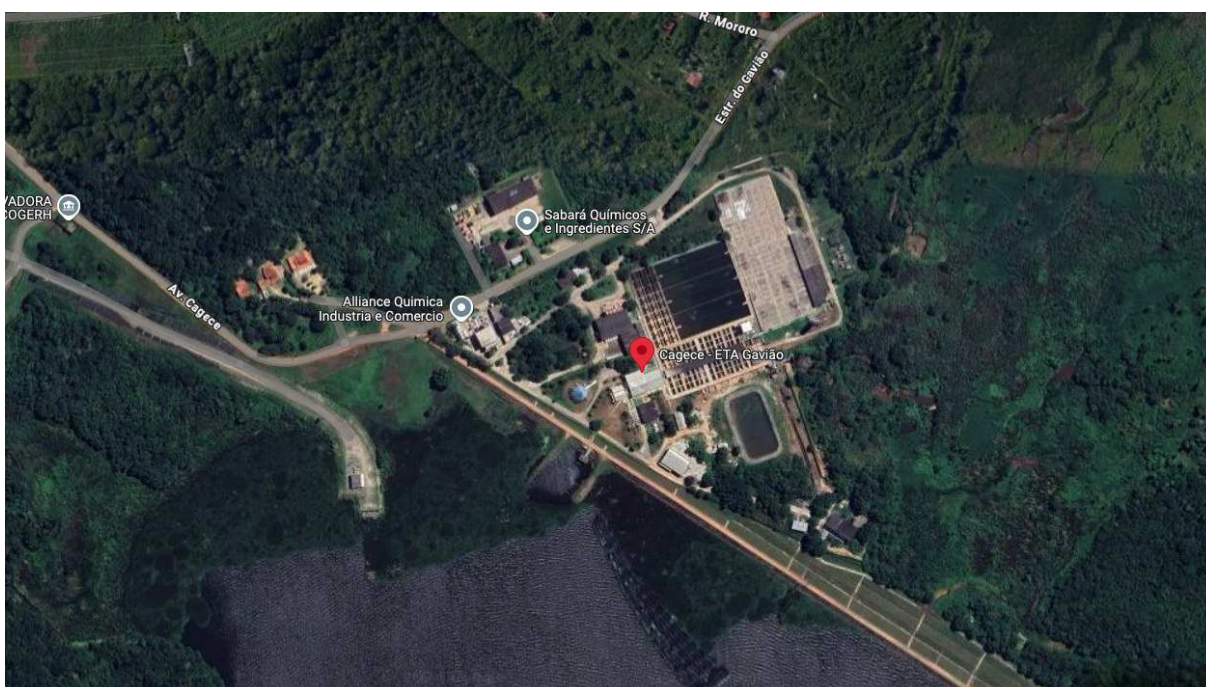
A ETA Gavião, mostrada na Figura 2, também é composta por dois reservatórios localizados no morro do Ancuri, que têm capacidade para 40.000 m³ cada, totalizando 80.000 m³ de água tratada. Esses reservatórios são fundamentais para garantir a estabilidade no abastecimento da região e o equilíbrio das pressões nas redes de distribuição, especialmente em situações de aumento da demanda ou em manutenção do sistema (CAGECE, 2023). A localização da ETA Gavião pode ser visualizada na Figura 3.

Figura 2 – ETA Gavião



Fonte: CAGECE (2023)

Figura 3 – Localização da ETA Gavião



Fonte: Google Maps (2025)

Além disso, o sistema Taquarão, mostrado na Figura 4, caracterizado como um sistema de adução e reservação complementar à ETA Gavião, contribui para a redução de perdas e o aumento da confiabilidade no abastecimento da zona oeste da Região Metropolitana de Fortaleza, equilibrando as pressões nas redes de distribuição. Com capacidade para 40.000 m³ de água, o reservatório também reduz custos com energia elétrica e garante o fornecimento em caso de manutenção no sistema Gavião-Ancuri.

Figura 4 – Sistema Taquarão



Fonte: Governo do Estado do Ceará (2021)

3.2.1 A Rede de Distribuição da ETA Gavião

A rede de distribuição da ETA Gavião é um componente vital do sistema de abastecimento de água da região metropolitana de Fortaleza, responsável por transportar a água tratada até os consumidores finais. Com uma extensão aproximada de 12.000 km, conforme dados da CAGECE (2024), a rede abrange uma vasta área, atendendo não apenas a capital, mas também municípios vizinhos da região metropolitana de Fortaleza. Essa

infraestrutura é composta por tubulações de diversos diâmetros, reservatórios estratégicos e estações de bombeamento, que garantem a distribuição contínua e eficiente da água.

Um dos principais desafios da rede de distribuição é a manutenção da qualidade da água ao longo de seu percurso. Conforme destacado por Barros et al. (2014), a presença de biofilmes nas tubulações e a variação do tempo de residência da água podem comprometer parâmetros como o cloro residual e a turbidez. Além disso, a rede enfrenta problemas comuns em sistemas de grande porte, como vazamentos e perdas de água, que, segundo a Agência Nacional de Águas (ANA, 2023), atingem índices preocupantes na região Nordeste.

Para mitigar esses desafios, a CAGECE tem investido em programas de renovação e modernização da rede, incluindo a substituição de tubulações antigas e a implementação de sistemas de monitoramento em tempo real. Essas ações são essenciais para garantir a eficiência operacional e a qualidade da água distribuída, especialmente em um contexto de crescimento urbano e aumento da demanda.

3.3 Pesquisa Documental

A pesquisa documental foi fundamental para embasar este estudo sobre a qualidade da água na ETA Gavião. Seguindo a abordagem da CETESB (2021), foram analisados materiais que ainda não haviam sido profundamente examinados ou que poderiam ser reinterpretados para responder os objetivos específicos. A busca por trabalhos relevantes foi realizada em repositórios de universidades federais e na base de dados dos Periódicos CAPES, abrangendo o período de 2010 a 2023. Essa escolha se justifica pela qualidade e abrangência desses acervos, aumentando a chance de encontrar pesquisas pertinentes ao tema. Utilizou-se três chaves principais para refinar a busca: "engenharia ambiental", "qualidade de água/bruta" e "estação de tratamento Gavião", "parâmetros físico-químicos". A combinação desses termos garantiu uma seleção mais precisa e direcionada de trabalhos relevantes.

Foram encontrados estudos que abordam a qualidade da ETA Gavião, porém, por serem de anos anteriores, como 2014, 2015 e 2016, não foi possível extrair diretamente os dados físico-químicos neles contidos. Dessa forma, recorreu-se aos relatórios mensais e anuais disponibilizados pela CAGECE em seu site oficial para complementar com dados mais recentes.

Os trabalhos foram escolhidos como referências pela semelhança metodológica com o presente TCC, visto que avaliam desempenho de estações de tratamento de água e examinam a qualidade da água em contextos comparáveis ao da ETA Gavião. Assim, mesmo sem a

possibilidade de aproveitamento direto dos dados físico-químicos desses estudos devido ao tempo decorrido, suas abordagens e análises críticas contribuíram significativamente para o referencial teórico e a contextualização dos resultados da pesquisa.

3.4 Índices de Qualidade da Água (IQA) e da Água Bruta (IQAB) para avaliar uma ETA

Os índices de qualidade da água, como o Índice de Qualidade da Água (IQA) e o Índice de Qualidade da Água Bruta (IQAB), são ferramentas amplamente utilizadas na avaliação de sistemas de tratamento de água. Esses índices sintetizam diversos parâmetros em uma única métrica, permitindo a análise objetiva da qualidade da água em diferentes estágios do processo de tratamento.

Conforme Souza (2008), o IQAB é aplicado para monitorar a qualidade da água bruta captada, focando em parâmetros como turbidez, cor verdadeira, pH, presença de cianobactérias, ferro e manganês. Esses indicadores ajudam a identificar os principais desafios relacionados à tratabilidade da água e fornecem informações importantes para o ajuste operacional das etapas de tratamento. Já o IQA, padronizado pela CETESB (2017), avalia a qualidade da água tratada, considerando variáveis como pH, turbidez, cloro residual livre e coliformes.

Embora a aplicação conjunta desses índices permita uma análise abrangente, sua implementação requer a disponibilidade de dados completos para os parâmetros avaliados. De acordo com a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2021), a ausência de informações dos parâmetros inviabiliza o cálculo dos índices, comprometendo a interpretação final. Nesse sentido, as informações disponíveis nos relatórios da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE) para os anos de 2023 e 2024 limitaram a aplicação direta do IQA e IQAB, já que os dados dos parâmetros necessários não foram divulgados para fins de discussão.

Diante dessa limitação, optou-se por realizar uma análise focada nas conformidades dos parâmetros disponíveis nos relatórios mensais, que são representativos para a avaliação da qualidade da água tratada. Entre os parâmetros analisados, se destacam turbidez, cor verdadeira, pH, cloro residual, coliformes totais e *Escherichia coli*, que, de acordo com a Portaria GM/MS nº 888/2021, são essenciais para verificar a conformidade com os padrões de potabilidade.

A literatura reforça a importância de uma abordagem adaptada as condições locais. Souza (2008) e Talarico (2016) destacam que índices de qualidade devem ser contextualizados conforme as características da água e as condições operacionais do sistema de tratamento. Nesse contexto, a análise aqui apresentada busca integrar os dados disponíveis, os relacionando aos padrões normativos e ao desempenho da ETA Gavião, promovendo uma interpretação crítica da qualidade da água fornecida.

3.5 Parâmetros de Qualidade da Água Avaliados na ETA Gavião

Os parâmetros de qualidade da água são indicadores fundamentais para monitorar a eficiência dos processos de tratamento e assegurar que a água distribuída atenda aos padrões de potabilidade. A análise desses parâmetros é uma prática consolidada por normas nacionais que estabelecem limites específicos para garantir a segurança e a qualidade da água para o consumo humano.

A avaliação dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos segue diretrizes estabelecidas pela Portaria GM/MS nº 888/2021, do Ministério da Saúde. Essa portaria define os padrões de potabilidade que devem ser atendidos em todas as etapas do tratamento e distribuição de água no Brasil.

A Organização Mundial da Saúde (OMS) também reforça a importância desses parâmetros ao estabelecer diretrizes globais para a qualidade da água, reconhecendo que características como turbidez, pH, coliformes e cloro residual livre têm impacto direto na saúde pública e na eficiência do tratamento. As principais variáveis monitoradas na ETA Gavião estão na Tabela 6 a seguir apresentando o significado de cada parâmetro monitorado:

Tabela 6 – Significado dos parâmetros monitorados

PARÂMETRO	SIGNIFICADO
COLOR RESIDUAL LIVRE (CRL)	Consiste no resíduo de cloro deixado na rede de distribuição após o processo de desinfecção da água. É um importante indicador das condições da água, funcionando como barreira contra organismos indesejáveis. De acordo com o Anexo XX, da Portaria GM/MS nº 888/2021,, a água entregue ao consumidor deve apresentar uma

PARÂMETRO	SIGNIFICADO
	concentração mínima de 0,2 mg/L (miligramas por litro) de cloro residual livre.
TURBIDEZ	Indica o grau de transparência da água. A turbidez é causada devido à presença de substâncias em suspensão. Água muito turva dificulta o processo de desinfecção. O Ministério da Saúde exige um valor máximo permissível de 5,0 uT (unidades de turbidez) na água distribuída.
COR	Indica a presença de substâncias naturais coloridas finamente divididas ou dissolvidas, capazes de emprestar a própria cor à água. Trata-se de um parâmetro eminentemente estético. Geralmente não apresenta risco à saúde. O valor máximo permitido na água distribuída é 15,0 uH (unidades de Hazen).
COLIFORMES TOTAIS	Indicam presença de bactérias na água e não necessariamente representam problemas para a saúde. De acordo com o Anexo XX, da Portaria GM/MS nº 888/2021,, a água entregue ao consumidor deve apresentar o limite mínimo de 95% de ausência de coliformes totais nas amostras coletadas durante o mês, exceto para os sistemas que coletam menos de 40 amostras por mês, onde o Anexo XX admite apenas uma amostra fora dos padrões durante o mês.
<i>Escherichia coli</i>	<p>Faz parte do grupo coliformes e indica a possível presença de organismos que podem causar doenças. De acordo com o Anexo XX, da Portaria GM/MS nº 888/2021,, a água entregue aos consumidores deve estar ausente desse microrganismo em todas as amostras coletadas durante o mês.</p> <p>Na rede de distribuição, a qualidade da água é verificada semanalmente com amostras coletadas em pontos estratégicos, representativos e de interesse sanitário ao longo de toda a sua extensão. Nestas amostras são</p>

PARÂMETRO	SIGNIFICADO
	realizadas avaliações laboratoriais de forma a assegurar a manutenção do padrão de potabilidade até a ligação do cliente.

Fonte: CAGECE (2023) - RELATÓRIO DE ANÁLISES ANUAL- ETA- GAVIÃO

Além disso, a Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE), companhia responsável pela ETA Gavião, adota um rigoroso monitoramento dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos em conformidade com a legislação vigente.

3.6 Coleta de Dados

A coleta de dados foi realizada a partir dos relatórios técnicos disponibilizados pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE) para os anos de 2023 e 2024. Os relatórios mensais forneceram informações essenciais sobre a qualidade da água tratada, com isso a eficiência dos processos de tratamento na ETA e a conformidade da água tratada com os padrões de potabilidade exigidos pela legislação vigente.

Foram considerados os seguintes parâmetros: turbidez, cor, cloro residual livre, coliformes totais e *Escherichia coli*, os quais fazem parte da composição do IQA. Essas coletas foram realizadas em pontos estratégicos da rede de abastecimento para garantir que a água mantivesse os padrões de qualidade ao longo da distribuição.

O Anexo XX, da Portaria GM/MS nº 888/2021, do Ministério da Saúde, foi utilizado como base normativa para a definição dos valores máximos permitidos para cada parâmetro analisado.

3.6.1 Análise dos Dados

Para avaliar a eficiência do tratamento de água na ETA Gavião, foram analisados parâmetros físicos, químicos e microbiológicos da tratada, com base em amostras coletadas ao longo de janeiro a dezembro de 2023 e de 2024. Esses dados, apresentados nas Tabelas 7 e 8, permitem uma análise detalhada das condições da água após o tratamento, indicando a eficácia do processo em atender aos padrões de potabilidade estabelecidos.

Em 2023, foram coletadas 4.621 amostras na rede de distribuição, totalizando 22.959 análises realizadas. Em 2024, o número de amostras somou 3.660, o que resultou em um

conjunto de dados substancial para comparação entre os anos. Essa comparação é essencial para monitorar a consistência do tratamento da água e sua adequação aos padrões sanitários e de potabilidade.

As Tabelas 7 e 8 a seguir apresentam a quantidade de amostras analisadas por parâmetro e os índices de conformidade para cada ano.

Mês		Jan	Fev	Ma r	Abr	Ma i	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
d e d i s t r i b u i ç ã o	Cor	Nº de Amostras em conformidade	378	390	479	340	374	361	345	358	346	352	360	372
		Nº de Amostras Analisadas	398	400	493	355	381	371	356	367	357	360	362	379
		Nº de Amostras Exigidas	346	346	346	346	346	346	346	346	346	346	346	346
	Turbidez	Nº de Amostras em conformidade	391	398	496	353	380	366	349	361	346	355	360	377
		Nº de Amostras Analisadas	398	403	501	356	381	366	351	367	357	360	362	379
		Nº de Amostras Exigidas	346	346	346	346	346	346	346	346	346	346	346	346

Fonte: CAGECE- JAN DE 2023 A DEZ DE 2023 RELATÓRIO DE ANÁLISES ANUAL- ETA- GAVIÃO

Mês		Jan	Fev	Ma r	Abr	Ma i	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
d e s t r i b u i ç ã o	Cor	Nº de Amostras em conformidade	360	358	358	342	364	354	365	358	369	351	326	344
		Nº de Amostras Analisadas	370	360	365	359	367	358	369	363	379	369	366	365
		Nº de Amostras Exigidas	347	347	347	347	347	347	347	347	347	347	347	347
	Turbidez	Nº de Amostras em conformidade	363	359	361	349	365	355	366	361	376	364	364	363
		Nº de Amostras Analisadas	370	360	365	359	367	358	369	364	379	367	366	365
		Nº de Amostras Exigidas	347	347	347	347	347	347	347	347	347	347	347	347

Fonte: CAGECE (2024)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Limitações na Aplicação do IQA e IQAB

Embora o IQA e o IQAB sejam ferramentas amplamente utilizadas para avaliar a qualidade da água, a aplicação desses índices neste estudo foi limitada pela indisponibilidade de dados completos nos relatórios fornecidos pela CAGECE. Para o cálculo do IQA e IQAB, é necessário que todos os parâmetros que compõem esses índices sejam monitorados e disponibilizados. No entanto, a CAGECE não fornece os valores específicos de cada parâmetro, mas sim a quantidade de amostras em conformidade e fora de conformidade coletadas em diferentes pontos da rede de distribuição, além disso, fornece apenas dos seguintes parâmetros: Escherichia Coli, Coliformes totais, Cloro Residual Livre, Cor e Turbidez.

Diante dessa limitação, optou-se por avaliar a conformidade dos parâmetros disponíveis. Essa abordagem permite uma análise crítica da eficiência do tratamento realizado pela ETA Gavião, mesmo sem o cálculo direto dos índices IQA e IQAB.

4.2 Discussões sobre os dados coletados

A avaliação da qualidade da água distribuída foi realizada com base nos parâmetros físico-químicos e microbiológicos estabelecidos no Anexo XX, da Portaria GM/MS nº 888/2021, do Ministério da Saúde. Os valores obtidos foram comparados com os limites normativos para turbidez, cloro residual livre, cor e coliformes totais, conforme apresentados na Tabela 7 e na Tabela 8. A análise de dados foi dividida de acordo com o ano, avaliando o ano de 2023 e 2024, com o objetivo de identificar variações sazonais e fatores externos que possam ter influenciado a qualidade da água ao longo do tempo.

4.3 Ano de 2023

4.3.1 Conformidade dos Parâmetros em 2023

A avaliação dos dados foi dividida em estações do ano, composta por trimestres, para identificar padrões sazonais e fatores externos que influenciaram a qualidade da água ao longo

de 2023. Essa divisão permitiu uma análise mais detalhada das variações nos parâmetros de qualidade da água, considerando as condições climáticas típicas de cada período.

Em 2023, foram realizadas 4.621 amostras na rede de distribuição da ETA Gavião, totalizando 22.959 análises. A conformidade geral foi alta, com mais de 95% das amostras dentro dos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021, Anexo XX. Os parâmetros de pH, cloro residual e coliformes totais apresentaram índices de conformidade superiores a 95% ao longo do ano, indicando a eficácia do processo de desinfecção e tratamento na ETA Gavião. No entanto, os parâmetros de cor e turbidez apresentaram variações sazonais, com aumentos pontuais na não conformidade, influenciados principalmente por fatores climáticos. Essas variações podem ser observadas com mais detalhes na Tabela 9, que apresenta a porcentagem de não conformidade por parâmetro e mês ao longo de 2023.

Tabela 9 – Porcentagem de Não Conformidade da Rede de Distribuição por Parâmetro e Mês ao longo de 2023.

Mês	Escherichia coli	Coliformes Totais	Cloro Residual Livre	Cor	Turbidez
Jan	0,25%	0,25%	0,00%	5,03%	1,76%
Fev	0,75%	1,00%	0,00%	2,50%	1,24%
Mar	0,60%	0,60%	0,00%	2,84%	1,00%
Abr	0,28%	0,28%	0,00%	4,23%	0,84%
Mai	0,26%	2,89%	0,52%	1,84%	0,26%
Jun	0,00%	0,54%	0,27%	2,70%	0,00%
Jul	0,00%	0,00%	0,55%	3,09%	0,57%
Ago	0,00%	0,00%	0,00%	2,45%	1,63%
Set	0,00%	0,00%	0,00%	3,08%	3,08%
Out	0,55%	0,55%	1,10%	2,22%	1,39%
Nov	0,00%	0,00%	0,28%	0,55%	0,55%
Dez	0,00%	0,00%	0,00%	1,85%	0,53%
Média	0,22%	0,51%	0,23%	2,70%	1,07%

Fonte: Autora (2025)

Janeiro a Março: Nos primeiros meses de 2023, os parâmetros de pH, cloro residual e coliformes mantiveram alta conformidade. No entanto, observou-se uma leve redução na conformidade dos parâmetros de cor e turbidez, principalmente em janeiro, quando 1,76% das amostras de turbidez e 5,03% das amostras de cor estavam fora dos padrões. Esse aumento pode estar relacionado as chuvas mais intensas no início do ano. Segundo dados da COGERH (2023), o acumulado de chuvas no primeiro trimestre de 2023 foi de 1.000 mm, acima da média histórica para o período, o que pode ter elevado a quantidade de matéria orgânica e sedimentos no manancial, impactando a qualidade da água bruta.

Abril a Junho: A conformidade se manteve alta, com exceções para os parâmetros de cor e turbidez. Em abril, 4,23% das amostras de cor e 0,84% das de turbidez estavam fora dos padrões. Esses resultados sugerem uma influência das chuvas, que podem alterar as condições da água bruta captada. De acordo com o INMET (2023), o mês de abril registrou precipitações intensas, com acumulado de 300 mm, contribuindo para o aumento da turbidez e da cor da água bruta. Nos meses seguintes, maio e junho, a não conformidade da turbidez se manteve baixa (0,26% e 0,00%, respectivamente), enquanto a cor apresentou índices de 1,84% e 2,70%, indicando uma melhora gradual, mas ainda influenciada pela presença de matéria orgânica no manancial.

Julho a Setembro: De julho a setembro, durante a estação seca e o auge dos ventos, a conformidade dos parâmetros de cor e turbidez foi impactada pela ressuspensão de partículas no manancial. Segundo dados da COGERH (2023), o período foi marcado por ventos mais intensos, com velocidades médias de 18 km/h, e pela redução significativa das chuvas, características típicas da estação seca no Ceará. Essas condições climáticas contribuíram para o aumento da turbidez da água, devido a ressuspensão de sedimentos no Açude Gavião. Em julho, 3,09% das amostras de cor e 0,57% das de turbidez estavam fora dos padrões. Em agosto, esses índices foram de 2,45% e 1,63%, respectivamente, e em setembro, 3,08% para ambos os parâmetros, refletindo o impacto desses fenômenos naturais na qualidade da água tratada.

Outubro a Dezembro: Com a diminuição dos ventos e o retorno gradual das chuvas, os níveis de conformidade apresentaram variações ao longo do período. Em outubro, que marca o final da estação seca no Ceará, foram registradas chuvas esparsas, que podem ter influenciado a qualidade da água bruta. Neste mês, 1,10% das amostras de cloro estavam fora dos padrões estabelecidos, possivelmente devido às alterações nas condições da água captada.

Em novembro, observou-se uma melhora na conformidade dos parâmetros analisados, indicando uma estabilização temporária nas condições da água bruta. No entanto, em dezembro, com o início da estação chuvosa no Ceará e um acumulado de precipitações entre 50 e 100 mm, houve um aumento na lixiviação de matéria orgânica e sedimentos para os mananciais. Esse fenômeno contribuiu para que 1,85% das amostras de coliformes totais e 0,53% das amostras de turbidez estivessem fora dos padrões. Apesar disso, a conformidade dos parâmetros de cor apresentou uma melhora, com apenas 1,85% das amostras fora do esperado.

Segundo a CAGECE (2023), o final do ano foi marcado por chuvas moderadas e condições climáticas mais estáveis, o que, em geral, favoreceu a qualidade da água bruta e, conseqüentemente, da rede de distribuição. No entanto, os períodos de transição entre as estações seca e chuvosa, como outubro e dezembro, podem aumentar a turbidez e a carga de contaminantes na água bruta, exigindo ajustes operacionais nas estações de tratamento para garantir a conformidade com os padrões de potabilidade.

4.3.2 Análise dos Principais Parâmetros em Não Conformidade em 2023

Os parâmetros que mais apresentaram não conformidade em 2023 foram cor e turbidez, com variações influenciadas principalmente por fatores climáticos e sazonais.

Cor: A não conformidade nos parâmetros de cor foi mais evidente durante os períodos de maior pluviosidade (janeiro a abril) e nos meses de ventos intensos (julho a setembro). Em janeiro, 5,03% das amostras de cor estavam fora dos padrões, enquanto em abril esse índice foi de 4,23%. Esses picos podem ser atribuídos ao aumento da matéria orgânica dissolvida na água bruta devido às chuvas intensas. Conforme Silva e Santos (2020), a presença de substâncias húmicas e fúlvicas, comuns em períodos chuvosos, pode elevar a cor da água, exigindo ajustes nos processos de coagulação e floculação na ETA.

Turbidez: O parâmetro de turbidez apresentou variações ao longo do período analisado, com maiores níveis de não conformidade durante o período de ventos intensos (julho a setembro). Em agosto, 1,63% das amostras de turbidez estavam fora dos padrões, enquanto em setembro esse índice aumentou para 3,08%. Segundo Costa e Almeida (2021), a ressuspensão de sedimentos no manancial, causada por ventos fortes, é um fator crítico para o aumento da turbidez, especialmente em açudes como o Gavião, que possuem grande extensão

e profundidade variável. Além disso, a turbidez pode ser influenciada por partículas que entram na rede de distribuição por meio de tubulações danificadas ou reservatórios abertos expostos a ventos fortes. A presença de biofilmes nas tubulações também pode contribuir para o aumento da turbidez, conforme destacado por Barros et al. (2014).

4.4 Ano de 2024

4.4.1 Conformidade dos Parâmetros em 2024

A avaliação dos dados de 2024 também foi dividida em estações do ano, organizada por trimestres, para identificar padrões sazonais e fatores externos que influenciaram a qualidade da água ao longo do ano. Essa abordagem permitiu uma análise comparativa com o ano anterior, destacando as variações climáticas e operacionais que impactaram os parâmetros de qualidade da água.

Em 2024, foram coletadas 4.320 amostras na rede de distribuição da ETA Gavião, totalizando 21.600 análises. A conformidade geral foi alta, com mais de 95% das amostras dentro dos padrões de potabilidade. No entanto, houve um aumento na frequência de não conformidades em comparação com 2023, principalmente nos parâmetros de cloro residual livre e turbidez, influenciados por fatores climáticos e operacionais.

Tabela 10 – Porcentagem de Não Conformidade da Rede de Distribuição por Parâmetro e Mês em 2024

Mês	Escherichia coli	Coliformes Totais	Cloro Residual Livre	Cor	Turbidez
Jan	0,00%	0,00%	0,27%	2,70%	1,89%
Fev	0,00%	0,00%	0,00%	0,56%	0,28%
Mar	0,55%	0,55%	0,00%	1,10%	0,82%
Abr	0,28%	1,67%	2,23%	2,79%	2,79%
Mai	0,00%	0,00%	0,82%	0,54%	0,54%
Jun	0,00%	0,00%	1,40%	1,12%	1,12%
Jul	0,00%	0,00%	1,08%	0,81%	0,81%

Ago	0,00%	0,00%	1,65%	0,55%	0,27%
Set	0,00%	0,00%	1,06%	0,79%	0,79%
Out	0,27%	0,27%	4,61%	0,54%	0,54%
Nov	0,00%	0,00%	4,64%	0,00%	0,00%
Dez	0,00%	0,00%	2,19%	0,55%	0,00%
Média	0,09%	0,21%	1,66%	1,00%	0,82%

Fonte: Autora (2025)

Janeiro a Março: Nos primeiros meses de 2024, os parâmetros de pH, cloro residual e coliformes mantiveram alta conformidade. No entanto, é possível observar uma leve redução na conformidade dos parâmetros de cor e turbidez, principalmente em janeiro, quando 1,89% das amostras de turbidez e 2,70% das amostras de cor estavam fora dos padrões. Esse aumento pode estar relacionado as chuvas intensas no início do ano, que podem ter causado infiltrações na rede de distribuição ou aumentado o volume de água a ser tratado, sobrecarregando a ETA. Segundo dados da COGERH (2024), o acumulado de chuvas no primeiro trimestre de 2024 foi de 1.200 mm, acima da média histórica para o período.

Abril a Junho: A conformidade se manteve alta durante o período, com exceções para os parâmetros de cor, turbidez e cloro residual livre. Em abril, 2,79% das amostras de cor e 2,79% das amostras de turbidez estavam fora dos padrões. Esses resultados sugerem uma influência das chuvas intensas, que podem ter causado infiltrações de água pluvial na rede de distribuição, carregando consigo matéria orgânica e sedimentos. De acordo com o INMET (2024), o mês de abril registrou precipitações intensas em Fortaleza, Ceará, com um acumulado de 350 mm, o que pode ter contribuído para o aumento da turbidez e da cor da água na rede. Além disso, o cloro residual livre apresentou uma taxa de não conformidade de 2,23% em abril, possivelmente devido ao aumento da demanda por cloro causado pela maior presença de matéria orgânica.

Em junho, os índices de não conformidade diminuíram, mas ainda foram registrados 1,40% das amostras de cloro e 1,12% das amostras de cor fora dos padrões. Essa melhora pode estar relacionada à redução das chuvas e à estabilização das condições da água bruta. No entanto, a presença residual de matéria orgânica e a necessidade de ajustes operacionais na ETA Gavião ainda podem explicar as não conformidades observadas.

Julho a Setembro: Durante a estação seca e o auge dos ventos, a conformidade dos parâmetros de cor e turbidez foi impactada pela possível entrada de partículas na rede de distribuição. Segundo dados da COGERH (2024), o período foi marcado por ventos mais intensos, com velocidades médias de 20 km/h, e pela redução significativa das chuvas. Essas condições climáticas podem ter levado ao acúmulo de sedimentos nos reservatórios abertos, aumentando a turbidez da água distribuída. Em julho, 0,81% das amostras de cor e 0,81% das de turbidez estavam fora dos padrões. Em agosto, esses índices foram de 0,55% e 0,27%, respectivamente, e em setembro, 0,79% para ambos os parâmetros.

Outubro a Dezembro: Com a diminuição dos ventos e o retorno gradual das chuvas, os níveis de conformidade voltaram a aumentar. Em dezembro, a conformidade dos parâmetros de turbidez e cor apresentou uma melhora, com 0,00% das amostras de turbidez e 0,55% das amostras de cor fora dos padrões. Segundo a CAGECE (2024), o final do ano foi marcado por chuvas moderadas e condições climáticas mais estáveis, o que favoreceu a qualidade da água na rede de distribuição. Os meses de outubro (4,61%) e novembro (4,64%) apresentaram as maiores não conformidades para o cloro residual livre. Esse aumento significativo pode estar relacionado a diversos fatores, como variações na demanda de cloro devido a mudanças na qualidade da água bruta, falhas no sistema de dosagem de cloro, ou até mesmo a presença de matéria orgânica que consome o cloro residual (Pontes et al., 2021).

4.4.2 Análise dos Principais Parâmetros em Não Conformidade em 2024

Os parâmetros que mais apresentaram não conformidade em 2024 foram cor, turbidez e cloro residual livre, com variações influenciadas principalmente por fatores externos a ETA, como infiltrações na rede de distribuição e condições climáticas.

Cor: A não conformidade nos parâmetros de cor foi mais evidente durante os períodos de maior pluviosidade (janeiro a abril) e nos meses de ventos intensos (julho a setembro). Em abril, 2,79% das amostras de cor estavam fora dos padrões, o que pode ser atribuído a infiltração de água pluvial na rede, carregando matéria orgânica e sedimentos. Conforme Silva e Santos (2020), a presença de substâncias húmicas e fúlvicas, comuns em períodos chuvosos, pode elevar a cor da água.

Turbidez: O parâmetro de turbidez também apresentou variações, com maiores níveis de não conformidade durante o período de ventos (julho a setembro). Em agosto, 0,27% das amostras de turbidez estavam fora dos padrões. Segundo Costa e Almeida (2021), a turbidez é diretamente influenciada pela quantidade de partículas em suspensão, que podem entrar na

rede de distribuição por meio de tubulações danificadas ou reservatórios abertos expostos a ventos fortes.

Cloro Residual Livre: Em 2024, o parâmetro de cloro residual livre apresentou um aumento significativo na não conformidade, especialmente nos meses de outubro e novembro, com taxas de 4,61% e 4,64%, respectivamente. Esse aumento pode ser atribuído a uma combinação de fatores, incluindo variações na qualidade da água bruta, falhas no sistema de dosagem de cloro e a influência de reservatórios da cidade e residências. As chuvas intensas no primeiro semestre de 2024, com um acumulado de 1.200 mm no primeiro trimestre (COGERH, 2024), podem ter aumentado a quantidade de matéria orgânica na água bruta, o que, por sua vez, elevou a demanda por cloro para a desinfecção. Conforme Pontes et al. (2021), a presença de matéria orgânica dissolvida, como substâncias húmicas e fúlvicas, é comum em períodos chuvosos e pode consumir o cloro residual, reduzindo sua concentração na água distribuída.

4.5 Comparação Temporal: 2023 e 2024

A comparação entre os anos de 2023 e 2024 mostrou padrões consistentes na qualidade da água distribuída pela ETA Gavião, mas também evidenciou um aumento na frequência de não conformidades em 2024, principalmente nos parâmetros de turbidez e cor. Essas variações estão diretamente relacionadas a fatores externos, como condições climáticas, infiltrações na rede de distribuição e possíveis falhas operacionais. O ano de 2024 apresentou maior não conformidade em comparação com 2023, especialmente nos parâmetros de cloro residual livre, turbidez e cor, refletindo os impactos das chuvas mais intensas e dos ventos fortes.

Desempenho Geral: Apesar dessas variações, os processos de tratamento mantiveram alta eficácia na maioria dos parâmetros avaliados, assegurando a potabilidade da água tratada. A conformidade geral foi alta, com mais de 95% das amostras dentro dos padrões de potabilidade em ambos os anos, pode observar que os meses de janeiro a abril apresentaram maior semelhança entre os dois anos, com níveis de conformidade elevados, exceto para os parâmetros de cor e turbidez, que sofreram impactos das chuvas intensas. Por outro lado, os meses de julho a setembro, marcados pela estação seca e ventos fortes, apresentaram maior variação, com uma piora na qualidade da água em 2024, especialmente em agosto e setembro, onde a turbidez e a apresentaram maiores índices de não conformidade, e em outubro e

novembro, onde o cloro residual livre foi o maior dos índices que apresentaram não conformidade.

Influência das Chuvas: Em 2024, as chuvas foram mais intensas no primeiro semestre, com um acumulado de 1.200 mm no primeiro trimestre, segundo dados da COGERH (2024). Esse volume elevado de precipitação pode ter causado infiltrações na rede de distribuição, levando a entrada de água pluvial carregada de matéria orgânica e sedimentos. Conforme Silva e Santos (2020), a presença de matéria orgânica dissolvida, como substâncias húmicas e fúlvicas, é comum em períodos chuvosos e pode elevar a cor da água. Além disso, o aumento do volume de água a ser tratado pode sobrecarregar a ETA, impactando a eficiência dos processos de coagulação e filtração.

Estação Seca e Ventos: Durante a estação seca em 2024, o aumento dos ventos no Ceará, com velocidades médias de 20 km/h (segundo dados da COGERH), intensificou a ressuspensão de partículas nos reservatórios abertos da rede de distribuição. Esse fenômeno foi mais marcado nos meses de agosto e setembro, quando a turbidez média aumentou significativamente, atingindo 3,08% de não conformidade em setembro. A ETA Gavião, localizada em Fortaleza, está inserida em uma região onde os ventos alísios são predominantes durante a estação seca, contribuindo para a agitação da superfície dos mananciais e, conseqüentemente, para a ressuspensão de sedimentos.

Conforme Costa e Almeida (2021), a turbidez é diretamente influenciada pela quantidade de partículas em suspensão, que podem entrar na rede por meio de tubulações danificadas ou reservatórios abertos expostos a ventos fortes. Além disso, a topografia da região e a proximidade de áreas urbanas podem agravar o problema, pois o transporte de partículas finas (como poeira e sedimentos) é facilitado pelos ventos intensos. Barros et al. (2014) também destacam que a formação de biofilmes nas tubulações pode contribuir para o aumento da turbidez, especialmente em redes de distribuição mais antigas ou mal conservadas.

No caso da ETA Gavião, a combinação de ventos fortes, a grande extensão do açude Gavião e a presença de áreas urbanizadas no entorno do manancial podem explicar as variações observadas nos parâmetros de turbidez durante a estação seca.

5 CONCLUSÃO

A análise da conformidade e da variação temporal dos parâmetros de qualidade da água distribuída pela ETA Gavião, entre os anos de 2023 e 2024, revelou que o sistema de tratamento apresenta uma resiliência elevada, com mais de 95% das amostras dentro dos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021. No entanto, foram observadas variações sazonais significativas, principalmente nos parâmetros de turbidez, cor e cloro residual livre, influenciadas por fatores climáticos, infiltrações na rede de distribuição e possíveis falhas operacionais.

Durante os meses de chuvas intensas (janeiro a abril), houve um aumento na turbidez e na cor da água distribuída, refletindo em uma leve redução na conformidade. Esse fenômeno pode ser atribuído à infiltração de água pluvial na rede, que carrega consigo matéria orgânica e sedimentos. Em 2024, por exemplo, o primeiro trimestre registrou um acumulado de chuvas de 1.200 mm, segundo dados da COGERH, o que contribuiu para elevar os índices de não conformidade da cor para 2,79% em abril. Nos meses de ventos fortes (julho a setembro), a ressuspensão de partículas nos reservatórios abertos, como o Açude Gavião, contribuiu para o aumento da turbidez, com picos de 3,08% de não conformidade em setembro de 2023. Esse fenômeno foi ainda mais evidente em 2024, possivelmente devido a ventos mais intensos, com velocidades médias de 20 km/h, conforme registrado pela COGERH.

A ETA Gavião demonstrou capacidade de manter a qualidade da água dentro dos padrões exigidos, com índices de não conformidade para coliformes totais abaixo do limite de 5% estabelecido pela Portaria GM/MS nº 888/2021. Os outros parâmetros, como pH e cloro residual, mantiveram uma baixa porcentagem de não conformidade ao longo dos dois anos analisados. No entanto, para garantir a conformidade contínua, é recomendada a implementação de medidas proativas, como o monitoramento integrado de dados meteorológicos e de qualidade da água, para antecipar variações sazonais e ajustar os processos de tratamento. Além disso, a manutenção da rede de distribuição, com inspeção e reparo de tubulações danificadas, é essencial para evitar infiltrações de água pluvial e contaminação por esgotos.

A otimização dos processos de coagulação e floculação durante períodos críticos, como chuvas intensas e ventos fortes, também pode contribuir para a melhoria da qualidade da água distribuída. Conforme destacado por Silva e Santos (2020), a presença de substâncias húmicas e fúlvicas, comuns em períodos chuvosos, exige ajustes operacionais para garantir a remoção eficiente desses compostos. Da mesma forma, a formação de biofilmes nas

tubulações, conforme apontado por Barros et al. (2014), pode ser mitigada com a limpeza e manutenção periódica da rede.

Em resumo, a ETA Gavião desempenha um papel crucial no abastecimento de água para a região metropolitana de Fortaleza, mas a continuidade de estudos e investimentos em infraestrutura e tecnologia é essencial para garantir a sustentabilidade do sistema e a saúde pública da população atendida. Os resultados deste trabalho reforçam a importância do monitoramento constante e da adaptação dos processos de tratamento às condições ambientais, contribuindo para a melhoria contínua da qualidade da água distribuída. A resiliência do sistema, evidenciada pela capacidade de manter altos índices de conformidade mesmo sob condições climáticas adversas, destaca a necessidade de ações preventivas e corretivas para enfrentar os desafios futuros.

REFERÊNCIAS

BRASIL. **Conselho Nacional de Meio Ambiente**. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 17 mar. 2005. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br>. Acesso em: 2 ago. 2024.

BRASIL. **Lei nº 9.866, de 28 de novembro de 1997**. Dispõe sobre a política estadual de recursos hídricos e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, São Paulo, 28 nov. 1997. Disponível em: http://www.daee.sp.gov.br/legislacao/arquivos/733/lei_9866.pdf. Acesso em: 2 ago. 2024.

CAGECE. **Companhia de Água e Esgoto do Ceará**. Relatórios de Qualidade de Água – ETA Norte/Gavião. Fortaleza: CAGECE, 2024. Disponível em: <https://www.cagece.com.br/documentos-publicacoes/relatorios/>. Acesso em: 26 jul. 2024.

CETESB. **Companhia Ambiental do Estado de São Paulo**. Índice de Qualidade das Águas. São Paulo: CETESB, 2021. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguas-superficiais/108-indices-de-qualidade-das-aguas>. Acesso em: 28 jul. 2024.

COGERH. **Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Ceará**. Quantidade de Impactos. Fortaleza: COGERH, 2024. Disponível em: <http://www.hidro.ce.gov.br>. Acesso em: 5 jul. 2024.

FREITAS, E. V. C.; BARRETO, F. M. S.; NUNES, A. B. A.; ALENCAR, M. F. **Índice de Qualidade da Água Bruta do Açude Gavião – Município de Pacatuba**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 26., 2011, Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: ABES, 2011.

TALARICO, Daniele Cristina. **Avaliação do Desempenho das Estações de Tratamento de Água de Ciclo Completo na Região Metropolitana de Salvador**. 2016. 161 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2016.

BARROS, J. C.; PARENTE, P. A. B.; VIDAL, T. F.; PEREIRA, R. F.; BARRETO, F. M. S. **Classificação da Qualidade da Água do Açude Gavião Utilizando o Índice de Qualidade das Águas (IQA-CETESB)**. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 12., 2014, Fortaleza. Anais. Fortaleza: ABRH, 2014.

CAGECE. **Nova opção energética aumenta segurança operacional do abastecimento em Fortaleza e RMF**. Fortaleza: CAGECE, 2021. Disponível em: <https://www.cagece.com.br/comunicacao/noticias/nova-opcao-energetica-aumenta-seguranca-operacional-do-abastecimento-em-fortaleza-e-rmf/>. Acesso em: 15 set. 2024.

ANA. **Agência Nacional de Águas**. Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil. Brasília: ANA, 2023. Disponível em: <https://www.ana.gov.br>. Acesso em: 10 out. 2024.

GOVERNO DO CEARÁ. **Governo do Ceará entrega Sistema Taquarão para ampliar a capacidade de abastecimento e garantir segurança hídrica da Grande Fortaleza.**

Fortaleza: Governo do Ceará, 2021. Disponível em:

<https://www.ceara.gov.br/2021/12/31/governo-do-ceara-entrega-sistema-taquarao-para-ampliar-a-capacidade-de-abastecimento-e-garantir-seguranca-hidrica-da-grande-fortaleza>. Acesso em: 20 out. 2024.

G1 CEARÁ. **Reservatório Taquarão, que vai reforçar o abastecimento hídrico da Grande Fortaleza, é inaugurado neste sábado.**

Fortaleza: G1, 2021. Disponível em:

<https://g1.globo.com/ce/ceara/noticia/2021/12/31/reservatorio-taquarao-que-vai-reforçar-o-abastecimento-hidrico-da-grande-fortaleza-e-inaugurado-neste-sabado.ghtml>. Acesso em: 20 out 2024.

COGERH. **Sistema Gavião.** Fortaleza: COGERH, 2024. Disponível em:

<https://portal.cogerh.com.br/sistema-gaviao/>. Acesso em: 20 out. 2024.

BARROS, Jessyca Costa; PARENTE, Priscila Araújo Barbosa; VIDAL, Ticiania Fontoura; PEREIRA, Rejane Felix; BARRETO, Francisco Maurício de Sá. **Classificação da Qualidade da Água do Açude Gavião Utilizando o Índice de Qualidade das Águas (IQA-CETESB).**

In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 12., 2014, Fortaleza: ABRH, 2014. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/3/PAP018249.pdf>.

Acesso em: 5 nov. 2024.

SILVA, J. A.; SANTOS, R. M. **Impacto das Variações Climáticas na Qualidade da Água em Açudes do Nordeste Brasileiro.**

Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 25, n. 3, p. 45-60, 2020. Disponível em: <https://www.abrhidro.org.br>. Acesso em: 12 nov. 2024.

SOUZA, M. L. **Avaliação da Eficiência de Estações de Tratamento de Água em Regiões Semiáridas.**

In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27., 2022, Belo Horizonte. Belo Horizonte: ABES, 2022. Acesso em: 20 dez. 2025.

LIMA, C. R.; OLIVEIRA, T. S. **Monitoramento de Parâmetros de Qualidade da Água em Açudes do Ceará.**

Fortaleza: UFC, 2023. Disponível em: <https://www.ufc.br>. Acesso em: 3 jan. 2024.

COSTA, F. R.; ALMEIDA, P. R. **Influência das Chuvas e Ventos na Qualidade da Água Bruta em Açudes do Nordeste.**

Revista de Engenharia Ambiental, v. 18, n. 2, p. 78-92, 2021. Disponível em: <https://www.revistaengenhariaambiental.com.br>. Acesso em: 3 jan. 2025.

INMET (Instituto Nacional de Meteorologia): **Dados de precipitação e ventos para Fortaleza.** Disponível em: <https://www.inmet.gov.br>., acessado em 20 jan. 2025

CPTEC (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos): **Dados de ventos para Fortaleza.** Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br>. Acesso em: 20 jan. 2025

Silva, J. A.; Santos, R. M. **Impacto das Variações Climáticas na Qualidade da Água em Açudes do Nordeste Brasileiro.**

Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 25, n. 3, p. 45-60, 2020.

COGERH (2023, 2024): **Dados climáticos e hidrológicos do Ceará**. Disponível em: <https://portal.cogerh.com.br>, acesso em: 05 de fevereiro de 2025

Pontes, R. et al. (2021). **Impacto da Matéria Orgânica no Consumo de Cloro em Sistemas de Distribuição de Água**. Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 26, n. 4, p. 567-578. Disponível em: <https://www.abes-dn.org.br>. Acesso em: 12 de fevereiro de 2025.

Souza, M. L. (2008). **Avaliação da Eficiência de Estações de Tratamento de Água em Regiões Semiáridas**. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 27ª edição. Disponível em: <https://www.abes-dn.org.br>. Acesso em: 12 de fevereiro de 2025.