



UFC

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

CENTRO DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

PROGRAMA GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

DANIEL NUNES DOS SANTOS

**INFLUÊNCIA DA SAZONALIDADE NOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA
ÁGUA**

FORTALEZA

2025

DANIEL NUNES DOS SANTOS

**INFLUÊNCIA DA SAZONALIDADE NOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA
ÁGUA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Graduação em Engenharia Química do
Centro de Tecnologia da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial à obtenção do
grau de bacharel em Engenharia Química.

Orientador: Prof. Dr. João José Hiluy Filho

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)

- S234i Santos, Daniel Nunes dos.
Influência da sazonalidade nos parâmetros físico-químicos da água / Daniel Nunes dos Santos. – 2025.
69 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia,
Curso de Engenharia Química, Fortaleza, 2025.
Orientação: Prof. Dr. João José Hiluy Filho.
1. Sazonalidade. 2. Qualidade da água. 3. Parâmetros físico-químicos. 4. Análise de dados. I. Título.
CDD 660
-

DANIEL NUNES DOS SANTOS

INFLUÊNCIA DA SAZONALIDADE NOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA ÁGUA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Graduação em Engenharia Química do
Centro de Tecnologia da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial à obtenção do
grau de bacharel em Engenharia Química.

Aprovada em:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. João Jose Hiluy Filho (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr^a. Rílvia Saraiva de Santiago Aguiar
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Bel. Marluce Oliveira de Souza
Companhia de Água do Ceará (Cagece)

A Deus.

Aos meus pais e irmãos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me conceder força e resiliência ao longo de todo esse processo.

Aos meus pais, minha eterna gratidão: sem os seus sacrifícios, conselhos e constante apoio, essa conquista não teria sido possível. Ela não é apenas minha, mas também de vocês.

Agradeço à minha irmã Sara e ao meu irmão Adriel pelo convívio e pela presença ao longo dessa caminhada.

Um agradecimento especial ao meu grande amigo Silas, que sempre me apoiou durante todos os anos da graduação.

Sou grato à Cagece pela disponibilização dos dados utilizados neste trabalho, e aos colegas do Laboratório de Físico-Química da Água (FQA), Marluce, Rayra, Walber, Elielton, Nayara e Mario, sou grato pelo aprendizado e amizade.

Por fim, agradeço ao professor Hiluy por toda disponibilidade, conselhos e aprendizados.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo analisar a influência da sazonalidade, com ênfase no índice pluviométrico, sobre os parâmetros físico-químicos da água, com base em uma abordagem integrada de análise de dados. A pesquisa contempla a água tratada, permitindo avaliar de forma comparativa como as variações sazonais, especialmente o regime de chuvas, impactam a qualidade da água. No caso das águas tratadas, serão avaliadas amostras provenientes de duas Estações de Tratamento de Água (ETAs) distintas, possibilitando uma análise mais abrangente ao considerar unidades com características operacionais e métodos de tratamento. Em seguida, as informações foram organizadas e tratadas com o auxílio dos softwares Python e Microsoft Excel, por meio de ferramentas de estatística descritiva, análise gráfica e testes de correlação. O foco foi identificar padrões, tendências e possíveis anomalias nos parâmetros físico-químicos em períodos de seca e de chuvas intensas, de modo a compreender melhor a relação entre clima e qualidade da água.

Palavras-chave: sazonalidade; qualidade da água; parâmetros físico-químicos; análise de dados

ABSTRACT

This study aims to analyze the influence of seasonality, with emphasis on rainfall, on the physical and chemical parameters of water, based on an integrated data analysis approach. The research includes both raw water and treated water, allowing a comparative assessment of how seasonal variations, especially rainfall patterns, impact water quality at different stages of the treatment process. In the case of treated water, samples from two different Water Treatment Plants (WTP) will be evaluated, enabling a more comprehensive analysis by considering units with different operational characteristics, treatment methods, and collection regions. The data used in the research were obtained through laboratory analyses conducted in accordance with the standardized procedures of the Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, ensuring the reliability and comparability of the results. The information was then organized and processed with the help of Python and Microsoft Excel software, using descriptive statistics tools, graphical analysis, and correlation tests. The focus was to identify patterns, trends and possible anomalies in physical-chemical parameters during periods of drought and heavy rainfall, in order to better understand the relationship between climate and water quality.

Keywords: seasonality; water quality; physical-chemical parameters; data analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa dos Tipos Climáticos do Estado do Ceará	16
Figura 2 - Variação Percentual das chuvas no Ceará em Relação à Média Histórica (1975 -2023)	20
Figura 3 - Ciclo Hidrológico da Água	20
Figura 4 - Principais Mecanismos da Filtração Rápida	27
Figura 5 - Filtração Lenta	30
Figura 6 - Filtração Lenta com Pré-filtração Dinâmica.....	31
Figura 7 - Filtração com Múltiplas Etapas	31
Figura 8 - Filtração direta descendente com floculação	32
Figura 9 - Filtração direta descendente sem floculação	32
Figura 10 - Filtração direta ascendente.....	33
Figura 11 - Filtração dupla (Ascendente e Descendente).....	33
Figura 12 - Tratamento Convencional.....	34
Figura 13 - ETA Gavião	35
Figura 14 - Etapas do Tratamento de Água na ETA Gavião em 2024.....	36
Figura 15 - ETA Oeste	36
Figura 16 - Escala de pH	38
Figura 17 - Teste de Normalidade	45
Figura 18 - Estrutura da Análise de Dados.....	46

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Volume Açude Gavião (2005 - 2024).....	18
Gráfico 2 - Precipitação Anual de Pacatuba.....	19
Gráfico 3 - Relação entre pH e Concentração de íons H^+	39
Gráfico 4 - Relação entre pH e a Precipitação.....	47
Gráfico 5 – Matriz de Correlação entre pH e Precipitação.....	48
Gráfico 6 - Distribuição do pH na ETA Oeste	49
Gráfico 7 - Distribuição do pH na ETA Gavião	49
Gráfico 8 - Distribuição da precipitação nos anos de 2023- 2024.....	50
Gráfico 9 - Panorama entre a Turbidez e a Precipitação no ano de 2023 e 2024.....	51
Gráfico 10 - Matriz de Correlação entre Turbidez e pH no ano de 2023	52
Gráfico 11 - Matriz de correlação entre Turbidez e Precipitação no ano de 2024	52
Gráfico 12 - Distribuição da turbidez na ETA Gavião no ano de 2023	53
Gráfico 13 - Distribuição da turbidez na ETA Gavião no ano de 2024	54
Gráfico 14 - Matriz de correlação entre Turbidez e Precipitação no ano de 2023 da ETA Oeste	55
Gráfico 15- Matriz de correlação entre Turbidez e Precipitação no ano de 2024 da ETA Oeste	56
Gráfico 16 - Distribuição da Turbidez no ano de 2023	56
Gráfico 17 - Distribuição da Turbidez no ano de 2024	57
Gráfico 18- Comportamento da Concentração de Fluoreto nas ETAs Gavião e Oeste em 2023 e 2024	58
Gráfico 19 - Matriz de Correlação entre a concentração de fluoreto e a precipitação para os anos de 2023 e 2024.....	60
Gráfico 20 - Distribuição dos resultados de concentração de fluoreto para ETA Gavião no período de 2023 a 2024	61
Gráfico 21 - Distribuição dos resultados de concentração de fluoreto para ETA Oeste no período de 2023 a 2024.....	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características hidrológicas e Estruturais do Açude Gavião.....	17
Tabela 2 - Tipos de Água	21
Tabela 3 - Tratamento Mínimo por Tipo de Água	23
Tabela 4 - Classificação dos Corpos Hídricos para Abastecimento	24
Tabela 5 - Exemplos de agentes desinfetantes	28
Tabela 6 – Diferenças entre teste de correlação	43
Tabela 7 - Parâmetros estatísticos	50
Tabela 8 - Parâmetros estatísticos para ETA Gavião	54
Tabela 9 - Parâmetros estatísticos ETA Oeste.....	57
Tabela 10 - Parâmetros estatísticos descritivos para ETA Gavião 2023-2024.....	59
Tabela 11 - Parâmetros estatísticos descritivos para ETA Oeste 2023-2024.....	59
Tabela 12 - Parâmetros estatísticos para ETA Gavião e Oeste para os anos de 2023 e 2024 ..	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- CAGECE – Companhia de Água e Esgoto do Ceará
- COGERH - Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos
- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente
- CPTEC – Centro de Previsões de Tempo e Estudos Climáticos
- DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
- ETA – Estação de Tratamento de Água
- FUNCEME - Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
- GM – Gabinete do Ministro
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- IPECE - Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
- MS – Ministério da Saúde
- NBR – Norma Brasileira Regulamentadora
- NTU – Unidade de Turbidez Nefelométrica
- pH – Potencial Hidrogeniônico
- RMF - Região Metropolitana de Fortaleza
- UFC – Universidade Federal do Ceará
- UV - Ultravioleta

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
2 OBJETIVOS.....	15
2.1 Objetivos Geral.....	15
2.2. Objetivos específicos.....	15
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
3.1 Introdução a problemática	15
3.2 Classificação dos Tipos de Água.....	20
3.2.1 Manancial Superficial.....	21
3.2.2 Água Tratada	22
3.3 Etapas de Tratamento da Água.	24
3.3.1 Clarificação.....	24
3.3.1.1 Mistura Rápida (Coagulação).....	24
3.3.1.2 Floculação.....	25
3.3.3.3 Decantação.....	26
3.3.1.3 Flotação	26
3.3.1.4 Filtração	26
3.3.1.4.1 Filtração Rápida.....	27
3.3.1.4.2 Filtração Lenta.....	27
3.3.2 Desinfecção	28
3.3.3 Fluoretação	29
3.4 Tipo de Tratamento da Água.	29
3.4.1 Filtração lenta	30
3.4.2 Filtração direta.....	32
3.4.2 Tratamento Convencional.....	34
3.4 Área de Estudo	35
3.4.1 Estação de Tratamento Gavião	35

3.4.2 Estação de Tratamento Oeste.	36
3.5 Parâmetros Físico-Químicos	37
3.5.1 Turbidez.....	37
3.5.2 pH	38
3.5.4 Fluoreto.....	39
3.6 Influência da Precipitação nos parâmetros estudados	40
3.6.1 Turbidez.....	40
3.6.2 pH	40
3.6.3 Fluoreto.....	41
3.7 Testes estatísticos	41
3.7.1 Escolha do teste estatístico	42
4.0 METODOLOGIA.....	43
4.1 Análise dos Dados	43
4.2 Coleta dos dados.....	44
4.3 Tratamento de Dados.....	44
4.4 Estrutura da Análise de Dados.....	44
4.4.1 Definição dos grupos	44
4.4.2 Análise da distribuição dos dados	44
4.4.3 Escolher o teste.....	45
4.4.4 Interpretação dos resultados	45
4.4.5 Visualização dos resultados.....	46
5.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
5.1 pH	47
5.2 Turbidez.....	51
5.2.1 Turbidez ETA Gavião	51
5.2.2 Turbidez ETA Oeste.....	55
5.3 Fluoreto.....	58

6.0 CONCLUSÃO.....	63
--------------------	----

1 INTRODUÇÃO

A água é vida. Trata-se de um dos recursos essenciais para a existência dos seres vivos e está diretamente ligada ao bem-estar e ao crescimento da civilização humana. Segundo Maia (2024), as primeiras grandes civilizações, como a egípcia e as mesopotâmicas, foram construídas próximas a fontes abundantes de água, como os rios Nilo, Tigre e Eufrates. Essa disponibilidade hídrica permitiu o desenvolvimento da agricultura e, conseqüentemente, o acúmulo de alimentos. Essa nova prática levou a humanidade a abandonar o nomadismo e possibilitou mais um passo rumo à sua evolução constante.

No mundo atual a importância da água não se restringe apenas a geração de comida por meios agrícolas. A água é um importante insumo para diversos setores, como indústria, energia e saúde. Entretanto, garantir essa disponibilidade para esses setores não é o principal fator a ser considerado, o mais importante é garantir a sua qualidade, e, para isso, a água precisa atender a padrões de qualidades, uma vez que, ela é destinada a hospitais, indústrias e residências e para que possa atingir seu objetivo sem causar nenhum dano, um controle de qualidade é necessário.

A qualidade da água está inteiramente ligada ao ambiente ao qual está inserida e, por isso está suscetível a fatores sazonais do ambiente em que se encontra. O Brasil país de proporções continentais apresenta uma diversidade de climas, com cada região apresentando suas peculiaridades. Segundo Marengo (2008), essa heterogeneidade climática afeta diretamente a disponibilidade da água e conseqüentemente a sua qualidade. De acordo com Marengo (2008), essa variabilidade pode estar associada aos fenômenos de El Niño e La Niña, impactando diretamente nos desafios para o controle de qualidade da água. Cada local, com suas respectivas características exigirá demandas diferentes, tornando essencial a adaptação às particularidades regionais para garantir a qualidade adequada da água.

Os principais responsáveis por garantir a qualidade são as estações de tratamento (ETAs), seguindo orientações tanto do Ministério da Saúde quanto do CONAMA. Nesse contexto, a análise de dados se mostra uma importante ferramenta para o monitoramento e controle dos processos que envolvem a qualidade da água. A elaboração deste trabalho tem como objetivo analisar parâmetros físico-químicos obtido de amostras do açude Gavião e das ETAs Gavião e Oeste que são abastecidas pelo açude Gavião e a partir desses dados elaborar análises estatísticas de dados históricos visando correlacionar fatores sazonais com diversos parâmetros físico-químicos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos Geral

Correlacionar a precipitação com os parâmetros físico-químicos das águas brutas do açude Gavião e das águas tratadas da ETA Gavião e ETA Oeste.

2.2. Objetivos específicos

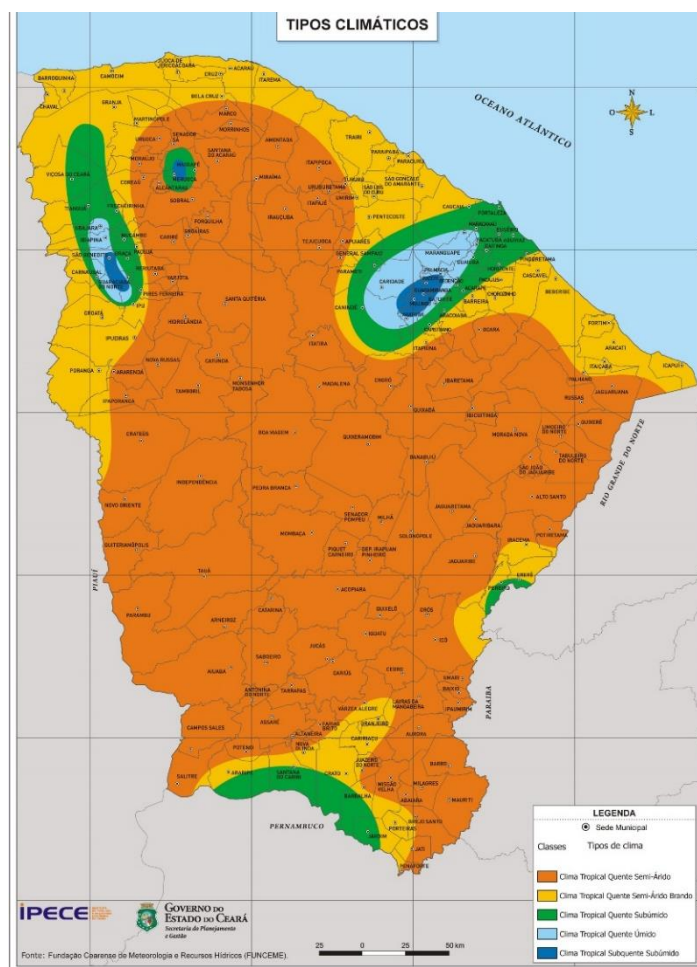
Verificar o comportamento dos parâmetros físico-químicos ao longo de anos, com base em dados históricos. Aplicar testes estatísticos para correlacionar os parâmetros pH, turbidez e fluoreto com os períodos de chuva e estiagem, e avaliar como métodos de tratamento de água podem influenciar parâmetros físico-químicos.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Introdução a problemática

O Nordeste brasileiro representa 18% do território do Brasil, o que equivale a aproximadamente 1.558.000 km² (IBGE, 2019). A região é composta por quatro principais tipos de clima: equatorial, tropical, semiárido e tropical atlântico. Nesse cenário, o estado do Ceará se destaca por ter 85% do seu território em clima semiárido. O semiárido apresenta como características um clima com temperaturas médias anuais entre 26 e 28 °C, insolação superior a 3.000 horas/ano, umidade relativa em torno de 65%, precipitação pluviométrica anual abaixo de 800 mm, solos com baixa profundidade e substrato predominantemente cristalino, conforme o Ministério da Integração Nacional (BRASIL, 2005).

Figura 1 - Mapa dos Tipos Climáticos do Estado do Ceará



Fonte: IPECE / Governo do estado do Ceará.

Todos esses fatores corroboram para a importância da chuva no Estado, sobretudo em regiões em que dependem diretamente da sazonalidade da chuva para o abastecimento de seus reservatórios de água. Essa variação climática influencia diretamente o comportamento dos parâmetros físico-químicos, essa variabilidade se dá não apenas em mananciais superficiais, mas também nas estações de tratamento.

Nesse contexto, Fortaleza, capital do Ceará, é uma cidade que, segundo dados do censo de 2024 do IBGE, apresenta aproximadamente 2.574.412 pessoas. Com uma densidade demográfica de aproximadamente 7775 habitantes por quilometro quadrado, diante desse contexto de alta densidade populacional torna-se indispensável um rigoroso controle de qualidade da água.

Desde 1996, a Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH) é responsável pelo fornecimento de água bruta para a Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), através de um sistema integrado pelos açudes, Aracoiaba, Pacajus, Pacoti-Riachão, Gavião e Acarape do Meio

e seis estações de bombeamento (Cogerh,2024).

Dentre os citados o açude Gavião é um dos principais polos de abastecimento de Fortaleza sendo responsáveis diretamente pelo abastecimento das ETAs Gavião e Caucaia que fornecem água tratada para Fortaleza. A Tabela 1 mostra as características hidrológicas e estruturais do açude Gavião, com dados obtidos da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Humanos (FUNCEME,2024)

Tabela 1 - Características hidrológicas e Estruturais do Açude Gavião

Categoria	Parâmetro	Valor	Unidade
Hidrologia	Bacia hidrográfica	97,12	Km ²
	Vazão regularizada	200,38	L/s
	Capacidade	33,45	hm ³
Barragem	Comprimento coroamento	845,56	m
	Largura coroamento	5,08	m
	Altura máxima	14,63	m
	Cota barragem	39,00	m
Sangradouro	Cota	36	m
	Largura	20	m
Tomada Da água	Tipo	Galeria	
	Comprimento	29,05	m
	Diâmetro	1900	mm

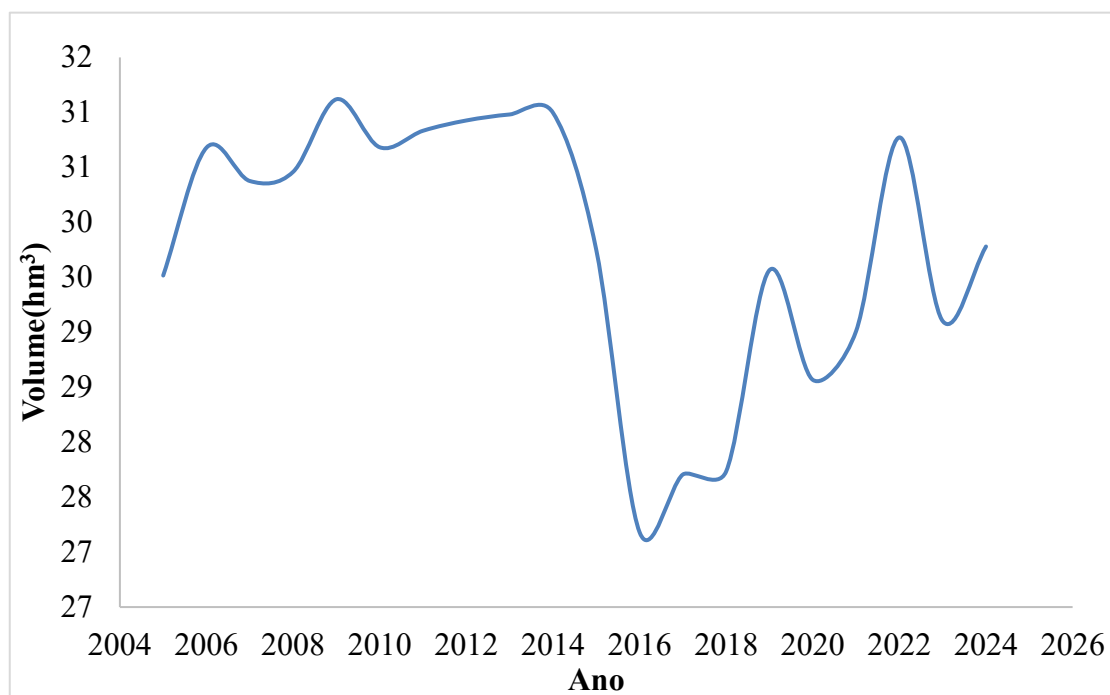
Fonte: Elaborado pelo autor adaptado FUNCEME,2024

O Gavião é um dos reservatórios responsáveis pelo abastecimento humano de Fortaleza, Caucaia, Maracanaú, Eusébio e São Gonçalo do Amarante, incluindo o Complexo Industrial e Portuário do Pecém, pois é receptor da transposição de águas oriundas do açude Castanhão, através do Eixão das Águas, que possui 255 km de extensão e realiza a transposição de água proveniente do vale do Jaguaribe para as bacias hidrográficas da região metropolitana de Fortaleza, beneficiando aproximadamente 3 milhões de pessoas (ADECE, 2015).

Nesse cenário, em que fica clara a importância do açude, o monitoramento do mesmo se torna algo extremamente necessário para o planejamento hídrico da capital do Ceará.

O gráfico 1, mostra uma série histórica do volume do açude, um recorte de 23 anos, com dados fornecidos pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Humanos (FUNCEME,2024)

Gráfico 1 - Volume Açude Gavião (2005 - 2024)

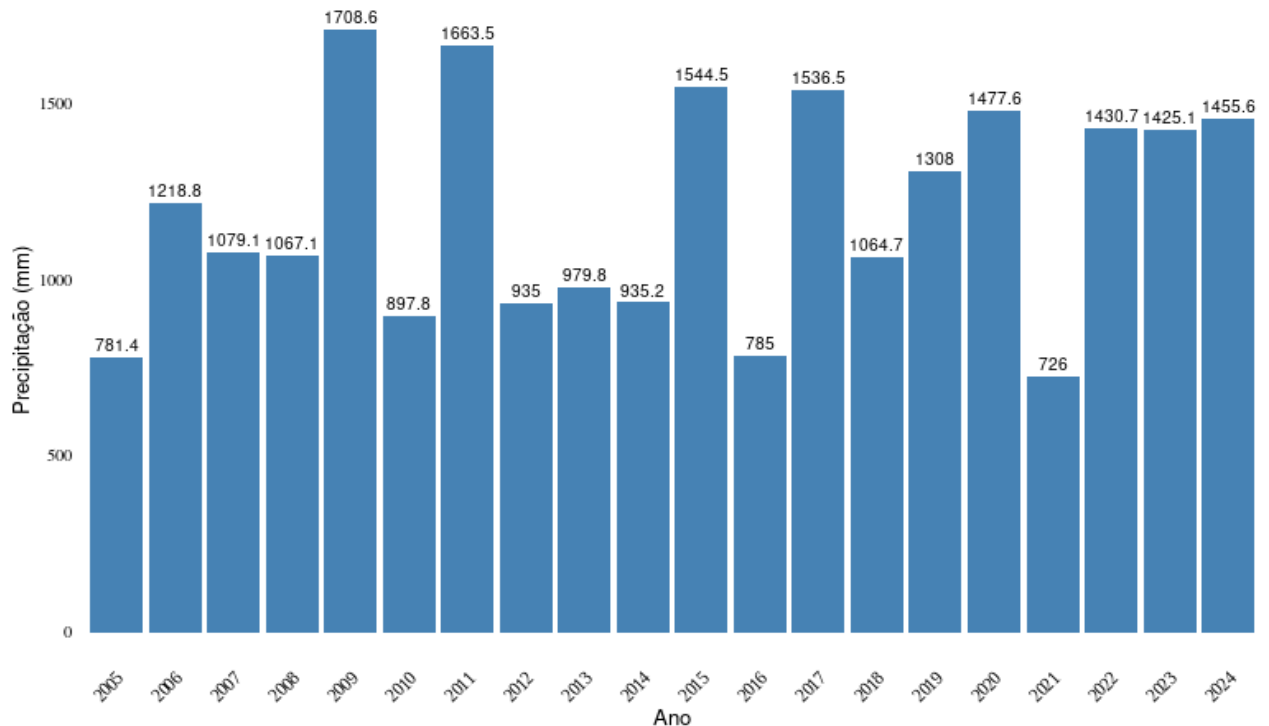


Fonte: Elaborado pelo autor

O gráfico mostra a instabilidade do volume do açude Gavião ao longo de 19 anos, apesar das variações serem pequenas em função da escala do eixo y, é importante ressaltar que a cada hectômetro cúbicos(hm³) equivalem a milhões de litros de água, o que confere uma relevância para essas variações.

Vários fatores contribuem para a variabilidade do volume do açude e um dos que podem ser quantificados é a precipitação pluviométrica do município de Pacatuba, local onde o açude está localizado. O gráfico 2 mostra o comportamento da precipitação ao longo de 19 anos, com dados fornecidos pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Humanos (FUNCEME,2024)

Gráfico 2 - Precipitação Anual de Pacatuba



Fonte: Elaborada pelo autor

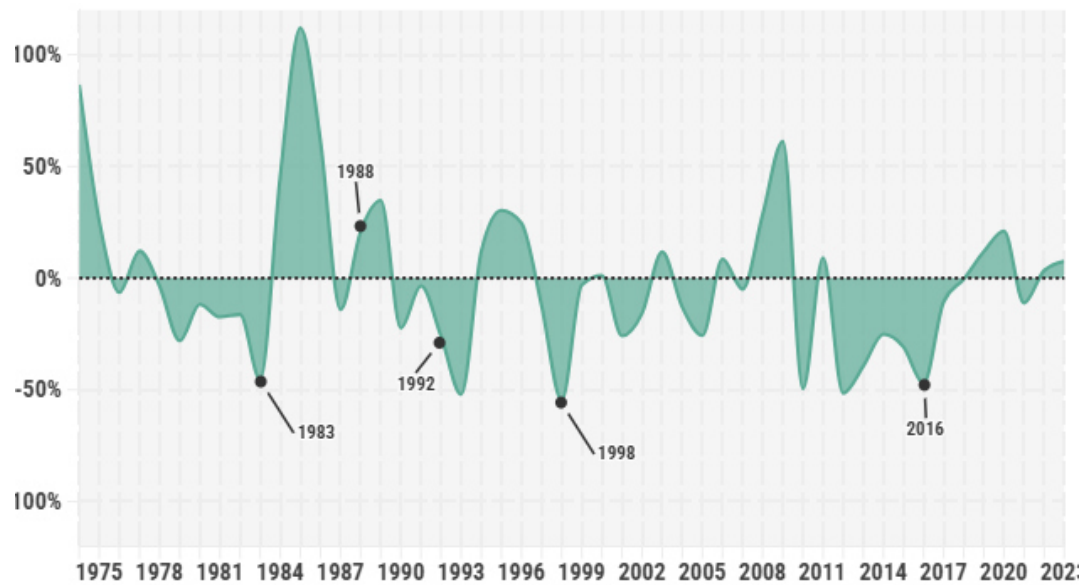
Assim como o gráfico 1 o gráfico 2 também demonstra a variabilidade precipitação ao longo da série histórica. Uma das principais causas de tanta instabilidade na precipitação volumétrica se dá pela ocorrência do fenômeno El Niño e La Niña.

Enquanto o El Niño consiste no aquecimento anormal das águas superficiais do Oceano Pacífico Equatorial por causa do enfraquecimento dos ventos alísios, o La Niña se caracteriza pelo resfriamento anormal das águas superficiais do Oceano Pacífico Equatorial (AmbScience,2021).

O El Niño é responsável por causar uma redução das chuvas na região Nordeste e chuvas acima da média na região Sul, em contrapartida La Niña causa aumento de chuvas nas regiões Norte e Nordeste, e efeitos de estiagem nas regiões Centro-Oeste e Sul.

A Figura 2 apresenta um comparativo da precipitação do Ceará em função da média histórica de chuvas do estado. Destaque para os anos de 1983,1998 e 2016, que segundo informações do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/Inpe,2024), representam anos em que o efeito El Niño foi considerado forte.

Figura 2 - Variação Percentual das chuvas no Ceará em Relação à Média Histórica (1975 -2023)

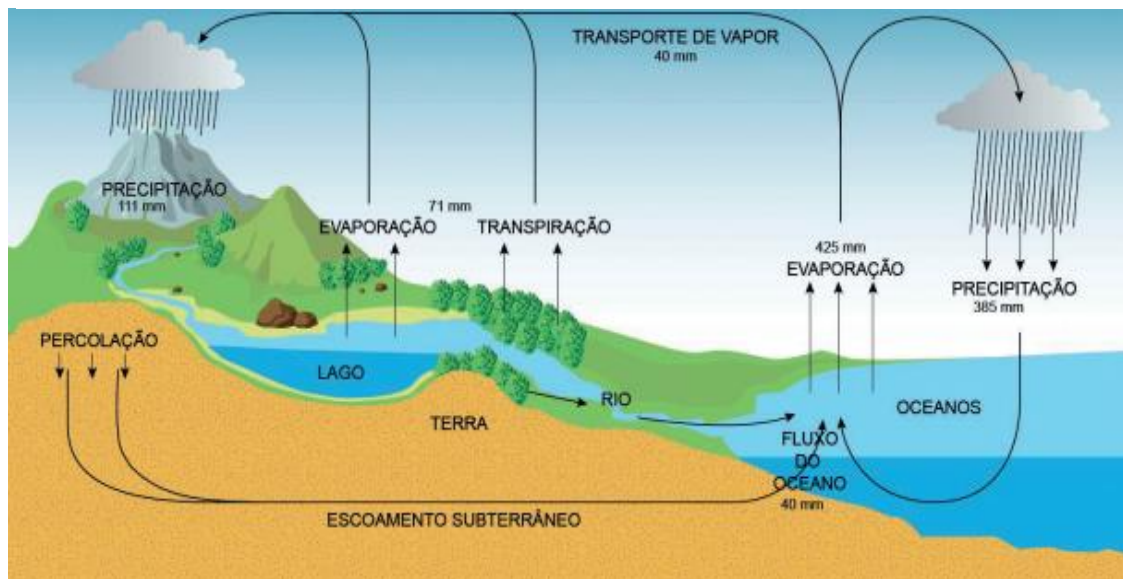


Fonte: Calendário de Chuvas do Ceará da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (Funceme)

3.2 Classificação dos Tipos de Água

Antes de definir os tipos de água é importante entender o ciclo hidrológico. Esse ciclo é composto por cinco principais mecanismos: precipitação, escoamento superficial, infiltração, evaporação e transpiração, conforme ilustrado na Figura 3

Figura 3 - Ciclo Hidrológico da Água



Fonte: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/curso_basico_vigilancia_qualidade_agua_modulo_II_aula_2.pdf

3.2.1 Manancial Superficial

Segundo Brasil, 2020, o Manancial superficial é composto majoritariamente por rios, córregos, barragens, ou seja, corpos hídricos onde o escoamento da água se dá pela superfície, esses mananciais representam uma das fontes de abastecimento hídricos para as populações do grande centro urbanos do Brasil.

Devido à sua exposição, águas superficiais podem ser mais facilmente contaminadas por materiais grosseiros, lançamento de esgotos, derramamento de substâncias químicas, além de apresentar características muito variáveis durante o ano, principalmente quando possuem as margens mal protegidas (Secretaria de Vigilância em Saúde/Ministério da Saúde, 2020).

Em função de todos os fatores citados que podem contaminar a água, um recurso que, se tratando de manancial superficial, é predominantemente destinado ao consumo humano, a Resolução CONAMA N° 357, de 17 de março de 2005, alterada pelas resoluções N° 397/2008, N° 410/2009 e N° 430/2011, discorre acerca das diretrizes que classificam os tipos de água de superficiais. Essa mesma Resolução, em seu Art. 2° fornece algumas definições sobre os tipos de água superficiais. A Tabela 2 ilustra a classificação dos corpos hídricos.

Tabela 2 - Tipos de Água

Tipo de água	Salinidade (%)
Água doce	Igual ou inferior a 0,5
Água salobra	Superior a 0,5 e inferior a 30
Água salinas	Igual ou superior a 30

Fonte: Adaptado Conama

A Resolução N° 357 do Conselho Nacional de Meio Ambiente, em seu Art. 4°, também, estabelece normativas, a respeito das classes das águas e definindo seus respectivos usos, assim, determinando níveis de exigências, de acordo com a finalidade de classe de água.

I - Classe especial: águas destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção;
- b) à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas;
- c) à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.

II - Classe 1: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA n° 274, de 2000;
- d) à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e
- e) à proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.

III - classe 2: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA n° 274, de 2000;
- d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto;
- e) à aquicultura e à atividade de pesca.

IV - Classe 3: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para 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 secundário;
- e) à dessedentação de animais.

V - Classe 4: águas que podem ser destinadas:

- a) à navegação;
- b) à harmonia paisagística.

3.2.2 Água Tratada

O Artº3 do Anexo XX da portaria de Consolidação GM/MS n.º 5 de 2017, responsável pelas portarias referentes à Estação de Tratamento de Água, estabelece que toda água destinada

ao consumo humano, distribuída coletivamente por meio de sistema ou solução alternativa coletiva de abastecimento de água, deve ser objeto de controle e vigilância da qualidade da água. O responsável por garantir a qualidade da água mediante as portarias do Ministério da Saúde, são as Estações de Tratamento de Água.

As Estações de Tratamento de Água, são conjuntos de unidades a adequar as características da água aos padrões de potabilidade (NBR 12216 de 1992). Essa mesma norma determina os tipos de água para abastecimento público.

Tipo A - águas subterrâneas ou superficiais, provenientes de bacias sanitariamente protegidas, com características básicas definidas na Tabela seguinte, e as demais satisfazendo aos padrões de potabilidade;

Tipo B - águas subterrâneas ou superficiais, provenientes de bacias não-protegidas, com características básicas definidas na Tabela seguinte, e que possam enquadrar-se nos padrões de potabilidade, mediante processo de tratamento que não exija coagulação;

Tipo C - águas superficiais provenientes de bacias não protegidas, com características básicas definidas na Tabela seguinte, e que exijam coagulação para enquadrar-se nos padrões de potabilidade;

Tipo D - águas superficiais provenientes de bacias não protegidas, sujeitas a fontes de poluição, com características básicas definidas na Tabela 3, e que exijam processos especiais de tratamento para que possam enquadrar-se nos padrões de potabilidade.

A NBR 12216, também, discorre acerca do tratamento mínimo para cada tipo de água, essas informações são ilustradas na tabela 3.

Tabela 3 - Tratamento Mínimo por Tipo de Água

Tipo	Tratamento
A	Desinfecção e correção do pH
	Desinfecção e correção do pH, e:
	a) Decantação simples, para águas com sólidos sedimentáveis, quando esse processo as enquadrar nos padrões de potabilidade;
B	ou
	b) Filtração, precedida ou não de decantação, para águas com turbidez natural inferior a 40 UNT e cor inferior a 20 unidades (Padrão de Platina)

C	Coagulação, seguida ou não de decantação, filtração em filtros rápidos, desinfecção e correção do pH
D	tratamento mínimo do tipo C e tratamento complementar apropriado a cada caso.

Fonte: Adaptado NBR 12216,1992

Além da classificação por tipo de água e o tratamento mínimo para que a água seja adequada para o consumo humano e demais atividades, a NBR 12216 dispõe sobre os valores mínimos de parâmetros físico-químicos de para que estas atendam os padrões de potabilidade.

Tabela 4 - Classificação dos Corpos Hídricos para Abastecimento

Parâmetro	Unidade	Tipo A	Tipo B	Tipo C	Tipo D
DBO 5 dias - média	mg/L	até 1,5	1,5 – 2,5	2,5 – 4,0	> 4,0
DBO 5 dias - máxima	mg/L	1 – 3	3 – 4	4 – 6	> 6
Coliformes - média	NMP/100 mL	50 – 100	100 – 5000	5000 – 20000	> 20000
Coliformes - máximo	NMP/100 mL	> 100 cm	> 5000 cm	> 20000 cm	-
pH	-	5 – 9	5 – 9	5 – 9	3,8 – 10,3
Cloretos	mg/L	< 50	50 – 250	250 – 600	> 600
Fluoretos	mg/L	< 1,5	1,5 – 3,0	> 3,0	-

Fonte: Adaptado NBR 12216,1992

3.3 Etapas de Tratamento da Água.

3.3.1 Clarificação

3.3.1.1 Mistura Rápida (Coagulação)

A água bruta contém grande variedade de impurezas, destacando-se as partículas suspensas e soluções coloidais, responsáveis, respectivamente, pela turbidez e cor da água. Tais impurezas apresentam carga superficial negativa, impedindo que se aproximem umas das outras. (Brasil,2020, p.21). Para remover essas impurezas é adicionado produtos químicos, conhecidos como coagulantes.

Essa operação com objetivo de dispersar produtos químicos é chamada de mistura rápida, nessa etapa os coagulantes são adicionados em locais de elevada agitação para que, assim, a difusão do produto seja da maneira mais eficiente.

A NBR 12216/1992 informa sobre a constituição dos dispositivos e locais em que essa mistura pode ocorrer.

- a) qualquer trecho ou seção de canal ou de canalização que produza perda de carga compatível com as condições desejadas, em termos de gradiente de velocidade e tempo de mistura;
- b) difusores que produzam jatos da solução de coagulante, aplicados no interior da água a ser tratada;
- c) agitadores mecanizados;
- d) entrada de bombas centrífugas.

Essa etapa de tratamento é importante, pois está ligada diretamente com a turbidez e cor da água, além disso, a coagulação ajuda na formação de flocos, dessa forma facilitando a sua remoção nas próximas etapas de tratamento da água.

3.3.1.2 Floculação

Após a etapa de coagulação, a água a ser tratada segue seu percurso até os floculadores. O tempo máximo permitido pela NBR 12216/1992 é de apenas 1 minuto, tempo esse que pode ser estendido até 3 minutos, se, entre as etapas de mistura e floculação, a estação de tratamento apresentar um sistema capaz de medir na água gradiente de velocidade igual ou superior ao do início no floculador.

Os floculadores são projetados para garantir movimentos lentos na água (gradientes de velocidade baixos), de forma a provocar choques entre as partículas desestabilizadas, possibilitando, assim, que as impurezas presentes na água possam se aglomerar, formando flocos (Brasil, 2020, p22).

A floculação não é uma etapa de remoção de impurezas, mas sim uma etapa com objetivo de produzir a aglomeração dos particulados gerados na etapa de coagulação. Segundo a NBR 12216/1992, dependendo do porte da estação de tratamento e do órgão controlador do local, o período de detenção pode variar entre 20 minutos e 30 minutos, se a estação de tratamento estiver trabalhando com floculadores hidráulicos, e entre 30 minutos e 40 minutos, para os floculadores mecanizados.

3.3.3.3 Decantação

Segundo, Brasil, 2020. Depois da etapa de floculação, os particulados formados, têm a massa e dimensões necessárias para ser removidos da água pela a força da gravidade. Esse processo é conhecido como decantação, considerada uma das técnicas mais antigas e de simples aplicação.

3.3.1.3 Flotação

A etapa é especialmente aplicada quando as propriedades da água proveniente do manancial e das etapas de coagulação e floculação produzem flocos com baixa velocidade de sedimentação, e nesse cenário para que o processo de decantação seja eficiente, há a necessidade de se projetar decantadores com baixa taxa de aplicação superficial, isso implica em unidade de tratamento com grande área física, o que significa mais custo operacional.

A alternativa para cenários como esse é optar pela flotação, onde será requerido uma área menor, todavia, a flotação requer operadores mais especializados e uma série de equipamentos especiais que tornam a operação, em muitos casos, mais cara do que a implantação de decantadores. A tabela 5 ilustra um comparativo técnico entre flotadores e Decantadores.

O processo de flotação se dá por meio da produção de bolhas que se aglutinam aos particulados em suspensão, assim, há um aumento da força vertical ascendente, provocando a ascensão dos particulados, e conseqüentemente sua remoção (HELLER & PÁDUA,2010).

O tamanho das bolhas geradas é um dos principais aspectos a serem considerados na flotação. As bolhas menores são mais adequadas, tendo em vista que elas deslocam menos líquido da superfície das partículas, e por isso, apresentam maior facilidade de adesão às impurezas (HELLER & PÁDUA,2010, p.547).

3.3.1.4 Filtração

A filtração é uma etapa imprescindível quando a captação da água é realizada em mananciais superficiais, tendo papel fundamental na sua clarificação, assim como na remoção de microrganismos patogênicos. Os filtros são unidades destinadas a remover partículas em suspensão por meio de um processo em que a água atravessa um leito filtrante, em geral areia, de modo que partículas em suspensão sejam retidas, produzindo um efluente clarificado. (Brasil,2020, p.26).

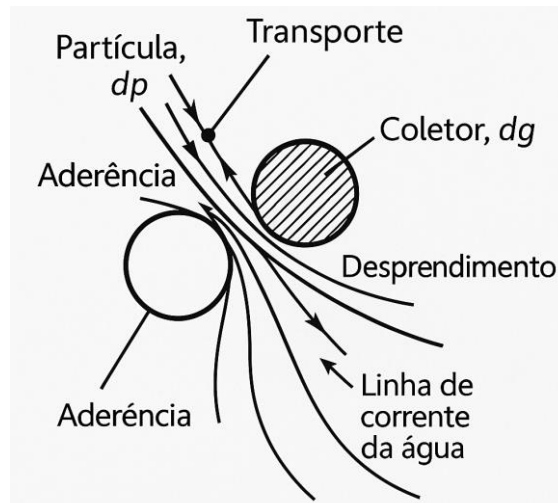
A filtração não está apenas ligada a etapa de clarificação, a filtração auxilia o processo de desinfecção, tendo em vista que os particulados retidos podem ser recipientes de

microrganismos, e consequentemente afetando a eficiência da etapa de desinfecção. A filtração pode ocorrer de duas maneiras: rápida ou lenta.

3.3.1.4.1 Filtração Rápida

Segundo HELLER & PADUA, 2010, nas Estações de Tratamento de água, a filtração rápida em um meio granular é o resultado de três mecanismos: transporte das partículas até o leito filtrante, aderência e o desprendimento, conforme ilustrado na Figura 4.

Figura 4 - Principais Mecanismos da Filtração



Fonte: AMIRTHARAJAH, 1988, apud HELLER & PADUA, 2010

Esses mecanismos conduzem os particulados suspensos no sobrenadante para a proximidade da superfície dos coletores. Quando as partículas estão nas proximidades dos coletores, as forças de ação superficial atuam de modo a agregá-las à superfícies dos coletores, assim, removendo as partículas da água. Conforme, o processo de limpeza vai ocorrendo, os particulados removidos vão se acumulando na superfície dos coletores, à medida que esses particulados vão se acumulando, a filtração vai perdendo sua eficiência, comprometendo a qualidade da água tratada, por isso para o funcionamento eficiente do processo, limpezas devem ser realizadas frequentemente.

Os filtros podem ser classificados de acordo com seu fluxo, ascendente ou descendente, com o tipo de camada, simples ou dupla.

3.3.1.4.2 Filtração Lenta

Na filtração lenta os filtros trabalham com baixas taxas de filtração (ou seja, baixa vazão de água filtrada por área de filtro) e seus leitos filtrantes são constituídos por material de

granulometria fina. Essas condições permitem o desenvolvimento de uma camada nos primeiros centímetros do meio filtrante, composta por organismos e detritos, chamada *schmutzdecke*. (Brasil,2020, p.27).

Segundo a NBR 12216 de 1992, esse tipo de unidade é destinado a tratar água tipo B, ou seja, águas subterrâneas ou superficiais, provenientes de bacias não-protegidas.

Esse tipo de filtração é dependente da atividade biológica, pois ela é a grande responsável pela eficiência do processo, além disso, essa atividade biológica é influenciada, principalmente, pela quantidade de nutrientes presente na água proveniente do manancial superficial.

Essa filtração, destaca-se que o uso dos filtros lentos dispensa as etapas de mistura rápida, ou seja, não há a necessidade das etapas de floculação ou decantação, e do ponto de vista econômico, descartasse os custos com equipamentos especializados e mão de obra especializada.

3.3.2 Desinfecção

Após todos os processos que envolvem a etapa de clarificação, a água deve passar pela etapa de desinfecção, que tem caráter de correção e prevenção, e para isso é utilizado agentes químicos ou físicos, para que, haja a eliminação de organismos patogênicos presente na água. A Tabela 5 apresenta os principais tipos de agentes desinfetantes, químicos e físico, que são tipicamente empregados nos processos de desinfecção.

Tabela 5 - Exemplos de agentes desinfetantes

Químicos	- Cloro gás (Cl_2)
	- Hipoclorito de sódio (NaOCl)
	- Hipoclorito de cálcio [$\text{Ca} (\text{OCl})_2$]
	- Cloraminas
	- Dióxido de cloro (ClO_2)
Físicos	- Ozônio (O_3)
	- Radiação ultravioleta (UV, 254 nm)
	- Temperatura elevada / Fervura

Fonte: Adaptado Ministério da Saúde,2020

A desinfecção é de extrema importância, pois a sua eficiência está diretamente relacionada à redução de doenças transmitidas pela água, causadas por bactérias ou vírus.

Os agentes desinfetantes agem por meio de um ou mais mecanismos: destruição da estrutura celular, interferência no metabolismo com inativação de enzimas e interferência na biossíntese e no crescimento celular, evitando a síntese de proteínas, ácidos nucleicos e coenzimas (HELLER & PÁDUA, 2010, p.554).

Do ponto de vista operacional, a eficiência da desinfecção na remoção dos diversos microrganismos é determinada pelo parâmetro CT, que é composto pela concentração residual do desinfetante na saída do tanque de contato (onde é realizada a desinfecção) e pelo tempo de contato da água com o agente desinfetante (tempo de exposição do organismo à ação do desinfetante (Brasil, 2020, p.28).

Esse conceito está em conformidade com a Portaria nº889/2021 do Ministério da Saúde (Brasil, 2021), recomenda em seu Art.15, que após a desinfecção, a água deve conter um teor mínimo de cloro residual de 0,5 mg/L. Em consonância com o Art.13 e o Art.32 determinam que, é obrigatória a manutenção de, no mínimo, 0,2 mg/L de cloro residual livre ou 2 mg/L de cloro residual combinado ou 0,2 mg/L de dióxido de cloro em toda a extensão do sistema de distribuição e nos pontos de consumo. Essas medidas têm como objetivo garantir que a água esteja com qualidade necessária para o consumo humano.

3.3.3 Fluoretação

Segundo, Brasil (2020), a fluoretação não se enquadra como uma etapa de tratamento da água, pois ela mesma não tem como objetivo a remoção de impurezas da água. O objetivo da fluoretação é adicionar substâncias químicas, geralmente, ácido fluorsilícico, fluorsilicato de sódio, para a prevenção de cáries nos dentes.

De acordo com, Brasil (2020), o flúor é seguro e eficaz na proteção contra cáries quando presente na água na concentração adequada. Entretanto, quando presente em elevadas concentrações, o que pode ocorrer devido à ocorrência natural no manancial ou à adição em excesso na Estação de Tratamento (ETA), pode provocar o agravo conhecido como fluorose.

3.4 Tipo de Tratamento da Água.

Existem diversas técnicas de tratamento de água para abastecimento público, destacando-se no Brasil o tratamento convencional (ou de ciclo completo) e a filtração direta, embora outras, como a filtração lenta, a flotação e a filtração em membrana também sejam

empregadas, mas em um número ainda relativamente pequeno de ETAs (HELLER & PÁDUA, 2010, p.561).

A variabilidade de técnicas pode ser atribuída a fatores, como a qualidade da água bruta, às características locais e aspectos econômicos e operacionais.

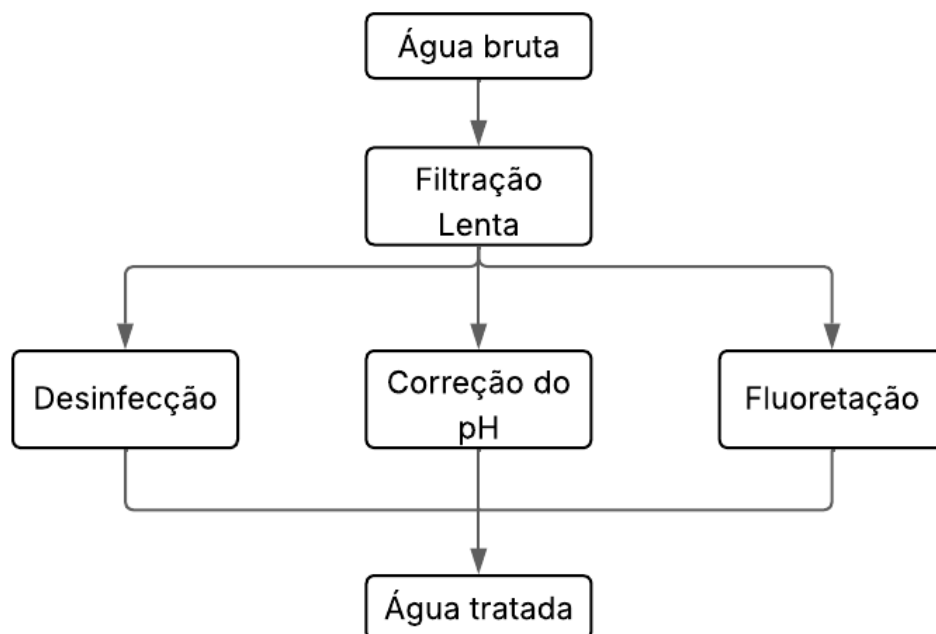
3.4.1 Filtração lenta

Nesse processo o tratamento da água é feito por um processo biológico, nessa filtração, não há a necessidade de aplicar agentes químicos, como os coagulantes. Essa é uma técnica simples que aliada a uma baixa frequência de limpeza de filtros, se torna uma operação bastante utilizada. Em contrapartida, a baixa taxa de filtração, faz com que haja a necessidade de grandes áreas para a implantação da filtração lenta.

Contudo, quando se considera a extensão do território brasileiro e se constata que a maior carência de água potável é registrada nos municípios que apresentam menor número de habitantes (em geral nas comunidades rurais), a filtração lenta apresenta-se como uma alternativa de tratamento de água com grande potencial para ser empregada em diversas localidades do país (HELLER & PÁDUA, 2010, p.563).

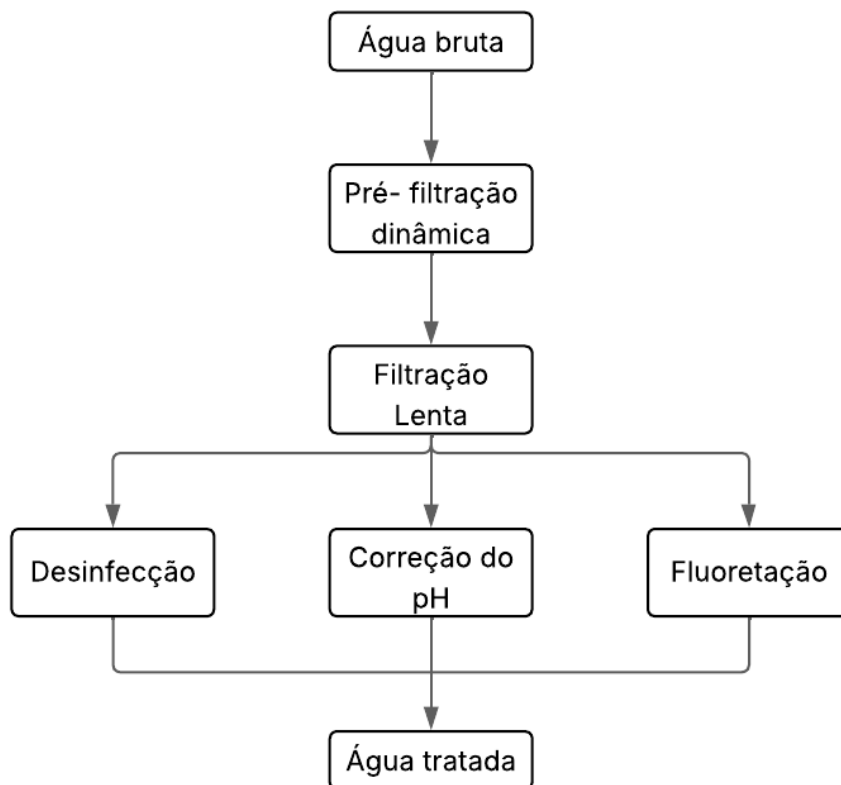
A filtração lenta apresenta diversos tipos de técnica de aplicação dos filtros lentos, essas técnicas são ilustradas nas figuras a seguir.

Figura 5 - Filtração Lenta



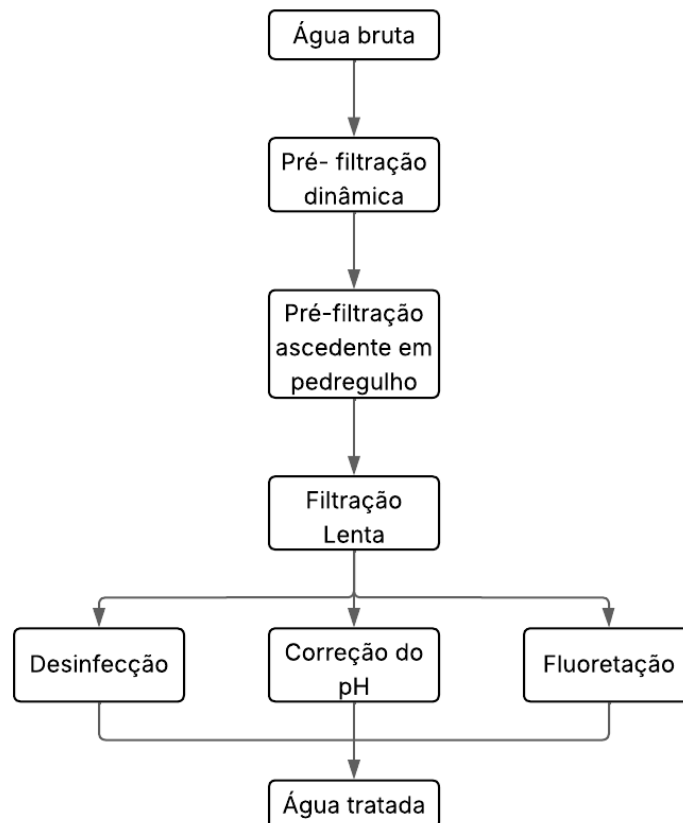
Fonte: Adaptado HELLER & PÁDUA, 2010

Figura 6 - Filtração Lenta com Pré-filtração Dinâmica



Fonte: Adaptado HELLER & PÀDUA,2010

Figura 7 - Filtração com Múltiplas Etapas



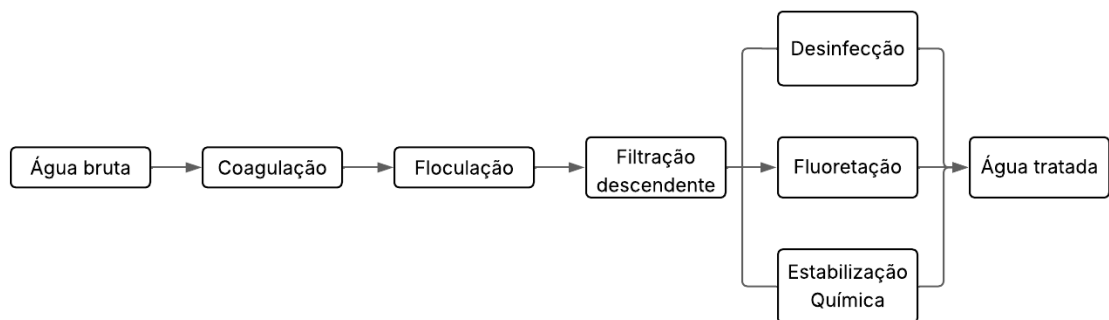
Fonte: Adaptado Ministério da Saúde,2020

3.4.2 Filtração direta

O termo filtração direta inclui todas as técnicas de tratamento em que filtros rápidos são as únicas unidades destinadas à remoção de sólidos presentes na água e nas quais a água bruta é coagulada antes de ser encaminhada às unidades de filtração (HELLER & PÁDUA, 2010, p.569).

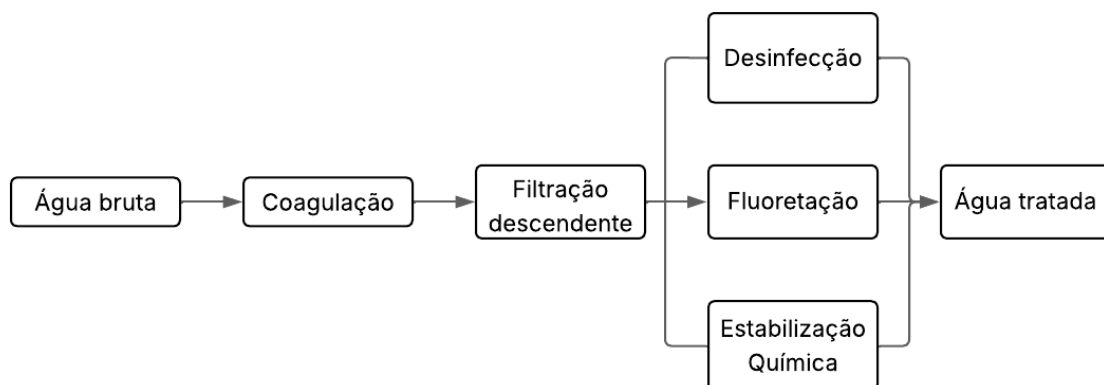
Igualmente a filtração lenta, a filtração apresenta três técnicas básicas, como filtração direta descendente com ou sem floculação, filtração direta ascendente e dupla filtração. As figuras abaixo ilustram cada uma dessas técnicas.

Figura 8 - Filtração direta descendente com floculação



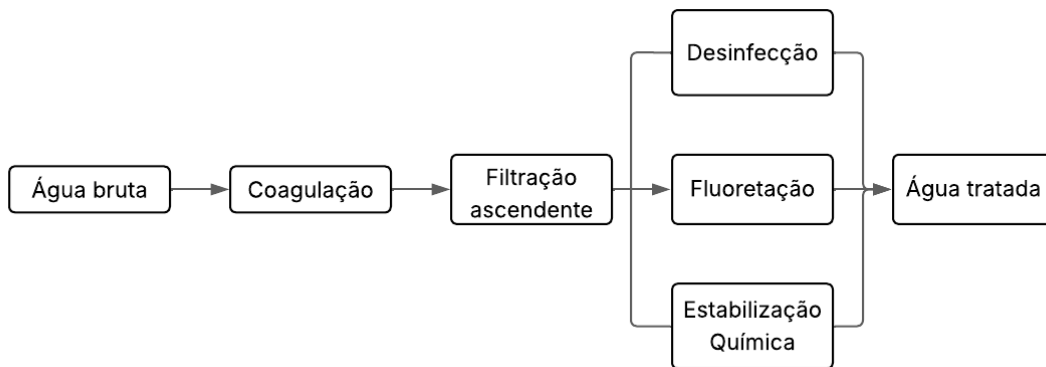
Fonte: Adaptado HELLER & PÁDUA,2010

Figura 9 - Filtração direta descendente sem floculação



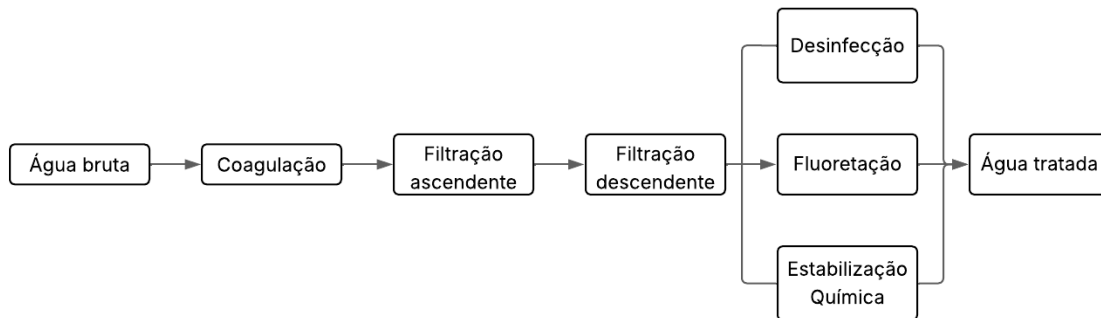
Fonte: Adaptado HELLER & PÁDUA,2010

Figura 10 - Filtração direta ascendente



Fonte: Adaptado HELLER & PÁDUA,2010

Figura 11 - Filtração dupla (Ascendente e Descendente)



Fonte: Adaptado HELLER & PÁDUA,2010

Di Bernado (2004), define sobre as principais vantagens de um sistema de dupla filtração são elas:

- a) Permite o tratamento de uma água de baixa qualidade
- b) Proporciona o uso de taxas de filtrações maiores
- c) Com o sistema de dupla filtração, há uma maior segurança da operação, de maneira que consegue atenuar variações bruscas da qualidade da água bruta
- d) O sistema permite uma remoção mais eficiente de microrganismos.
- e) A água proveniente do filtro ascendente no início da filtração não precisa ser descartada, uma vez que será eficientemente tratada ao passar pelo filtro descendente, otimizando o uso dos recursos e garantindo a continuidade do processo sem maiores desperdícios.

Megda (1999), em experimentos determinou a eficiência de um sistema de dupla filtração, para um manancial superficial fornecendo água bruta com turbidez elevada. Os resultados mostraram que para uma água bruta com turbidez de pelo menos 71 uT, o sistema de dupla filtração apresentou alta eficiência na remoção de turbidez, cor aparente, ferro e coliformes totais, sendo obtidos resultados de turbidez sempre abaixo de 1uT.

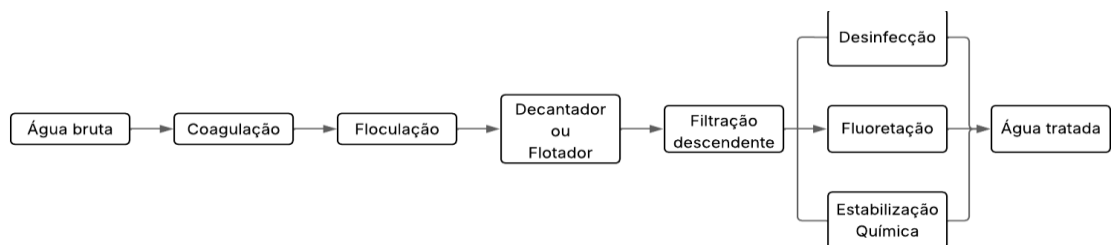
3.4.2 Tratamento Convencional

Segundo Brasil, 2020. Quando o manancial que abastece a ETA fornece água bruta com valores altos de cor, turbidez e concentração elevada de algas, logo é necessária uma maior eficiência no processo de limpeza da água, e para isso é aplicado o tratamento convencional. Esse tratamento é composto pelos processos de coagulação, floculação, decantação ou flotação, além da filtração rápida descendente.

A decantação ou flotação será usada de acordo com as características da água bruta, se os flocos formados apresentarem baixa velocidade de sedimentação, os decantadores não são adequados, pois a baixa velocidade acarretará uma maior necessidade de limpeza do meio filtrante, gerando um gasto excessivo de água de lavagem, nesses casos, os decantadores só seriam eficientes se fossem projetados com grande área física, o que do ponto de vista econômico não seria viável.

A flotação é recomendada quando a água bruta apresenta altos valores de cor, baixos de turbidez e altas concentrações de algas. A água bruta com essas características levaria a formação de flocos com baixa velocidade de sedimentação, e conseqüentemente aumentaria a eficiência do processo de flotação. A Figura 12 ilustra o processo do tratamento convencional de uma ETA.

Figura 12 - Tratamento Convencional



Fonte: Adaptado HELLER & PÁDUA, 2010

3.4 Área de Estudo

3.4.1 Estação de Tratamento Gavião

A Estação de Tratamento de Água (ETA) Gavião foi inaugurada em 1981, é considerada uma das maiores estações de tratamento de água da América Latina. A ETA está localizada no município de Pacatuba, no bairro Pavuna, aproximadamente 34,0 Km de Fortaleza, capital do estado do Ceará. A Figura 13 apresenta uma imagem aérea da ETA.

Figura 13 - ETA Gavião



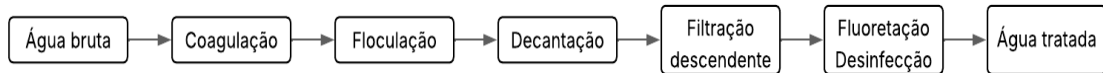
Fonte: Google Maps, 2025

A estação de tratamento Gavião é o equipamento responsável por prestar serviços de abastecimento para cerca de 3,5 milhões de pessoas no sistema integrado, composto por Fortaleza, Maracanaú, Eusébio, Caucaia, parte do Maranguape, Pacatuba e Itaitinga (Cagece, 2019).

A estação foi projetada para ser capaz de realizar o tratamento de ciclo completo (convencional) e possuía uma capacidade de aproximadamente $5,52 \text{ m}^3/\text{s}$. O processo compreendia as etapas de coagulação (Mistura rápida), floculadores mecanizados, decantadores e filtração rápida, processo semelhante ao mostrado na Figura 13. No ano de 1995, essa tecnologia foi substituída pela filtração direta com escoamento descendente, processo citado no item 3.4.2 e ilustrado na Figura 8. Com essa mudança, a área filtrante aumentou em 25%, elevando a capacidade de $5,52 \text{ m}^3/\text{s}$ para $6,9 \text{ m}^3/\text{s}$. Posteriormente, em 2007, devido à construção de seis novas unidades de filtração, a capacidade foi aumentada para $10 \text{ m}^3/\text{s}$.

Atualmente, a estação é composta pelas seguintes etapas: coagulação, floculação, decantação e filtração direta descendente (CAGECE,2024).

Figura 14 - Etapas do Tratamento de Água na ETA Gavião em 2024



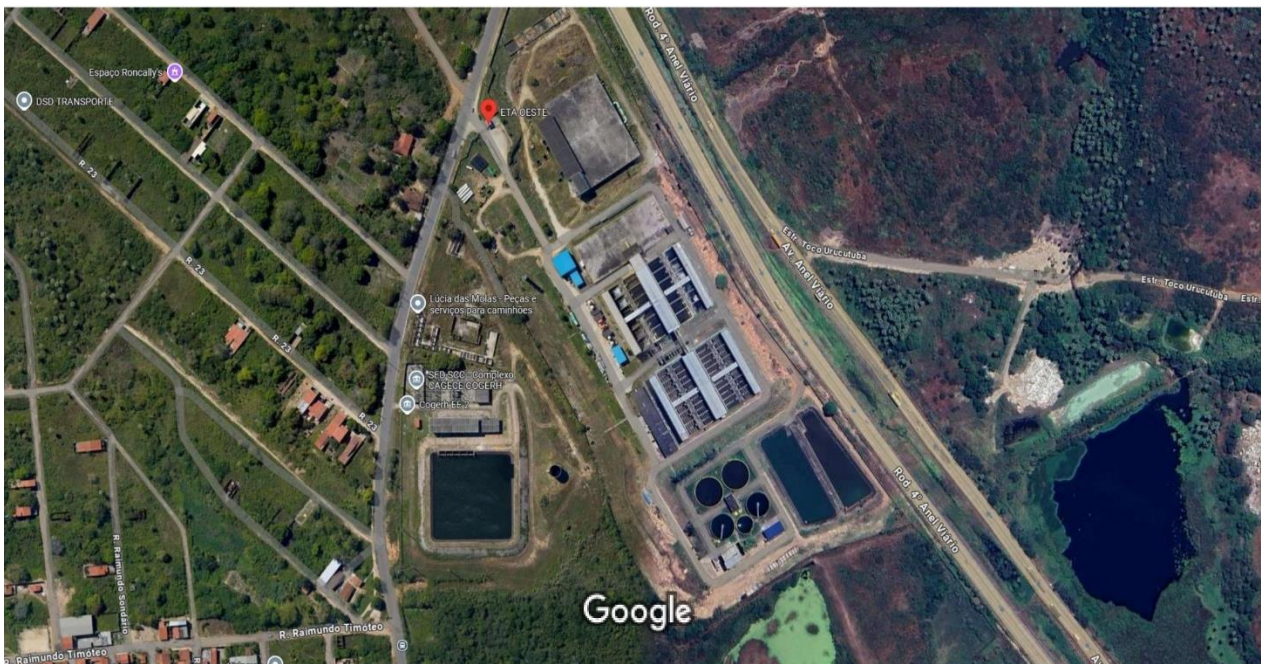
Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado CAGECE,2024

3.4.2 Estação de Tratamento Oeste.

A estação de Tratamento de Água (ETA) Oeste teve o início de sua operação em 24 de dezembro de 2012. A estação está localizada no município de Caucaia, no distrito de Jurema, aproximadamente 20,0 Km de Fortaleza. A Figura 15 apresenta um panorama aéreo da ETA.

A estação foi projetada para ter uma capacidade nominal de 5,0 m³/s. Essa capacidade distribuída em quatro módulos de 1,25 m³/s. A estação trabalha com a técnica de filtração dupla, ilustrada na Figura 11, sendo composta por 6 filtros ascendentes e 6 descendentes.

Figura 15 - ETA Oeste



Fonte: Google Maps,2025

De acordo com informações da pb construções, o projeto da ETA Oeste é constituído pelas as seguintes unidades operacionais:

- a) Controle da entrada de água bruta e medição de vazão

- b) Câmara de mistura rápida
- c) Unidades de filtração (ascendente e descendente)
- d) Câmara para desinfecção
- e) Reservatório de água para lavagem dos filtros
- f) Estação elevatória de água para lavagem dos filtros
- g) Reservatório Pulmão de água tratada
- h) Medidor de Vazão da água tratada
- i) Reservatório elevado para abastecimento da ETA
- j) Estação de tratamento de resíduos sólidos gerados, constituída por 2 tanques de regularização e equalização, 2 tanques de clarificação e adensamento, 1 tanque de água recuperada
- k) Lagoa de emergência
- l) Sistema de produtos químicos, composto por sistema de aplicação de hidróxi-cloreto de alumínio, polímero catiônico, hidróxido de sódio, cloro e ácido fluorsilícico
- m) Subestações elétricas

No início de sua operação, em 2012, a estação contava apenas com um módulo de filtração, composto por seis filtros descendentes e com vazão entre 0,3 e 0,5 m³/s. Em 2014, a construção dos filtros ascendentes foi concluída e a partir de então, passou a ser adotada a tecnologia de dupla filtração, conforme o projeto inicial (CAGECE, 2023).

Até 2013, a vazão da ETA Oeste operava em torno de 0,6 m³/s. A partir de 2015, passou a ser aumentada gradativamente. Em 2021, a vazão atingiu 1,1 m³/s; em 2022, alcançou 1,35 m³/s; e, em 2023 atingiu 1,9 m³/s.

3.5 Parâmetros Físico-Químicos

3.5.1 Turbidez

De acordo com Standard Methods (2017), a turbidez é uma expressão da propriedade óptica que faz com que a luz seja dispersa e absorvida, em vez de ser transmitida sem alteração na direção ou intensidade através da amostra. A turbidez na água é causada por matéria suspensa e coloidal, como argila, silte, matéria orgânica e inorgânica e outros organismos microscópicos

A turbidez está intrinsecamente ligada à qualidade da água, apesar de não ocasionar problemas sanitários diretos, é um parâmetro estético, pois água com valores altos de turbidez não é agradável esteticamente para o consumo humano. Além disso, uma água com alta turbidez

em decorrência da presença de partículas suspensas pode mascarar a presença de bactérias e outros microrganismos nocivos à saúde humana.

A turbidez é medida por um instrumento chamado turbidímetro nefelométrico, que expressa a turbidez em Unidade de Turbidez Nefelométrica (NTU).

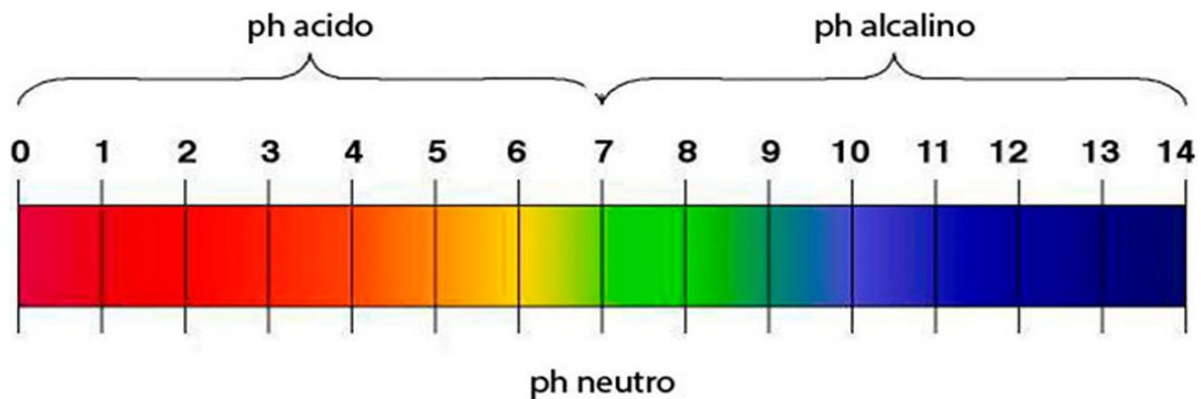
3.5.2 pH

O pH é um dos parâmetros mais importantes do controle da qualidade da água a medição do pH está presente em quase todas as etapas do tratamento da água. O pH é definido como o logaritmo negativo da concentração de íons de hidrogênio a equação 1 descreve essa relação.

$$pH = -\log[H^+] \quad (1)$$

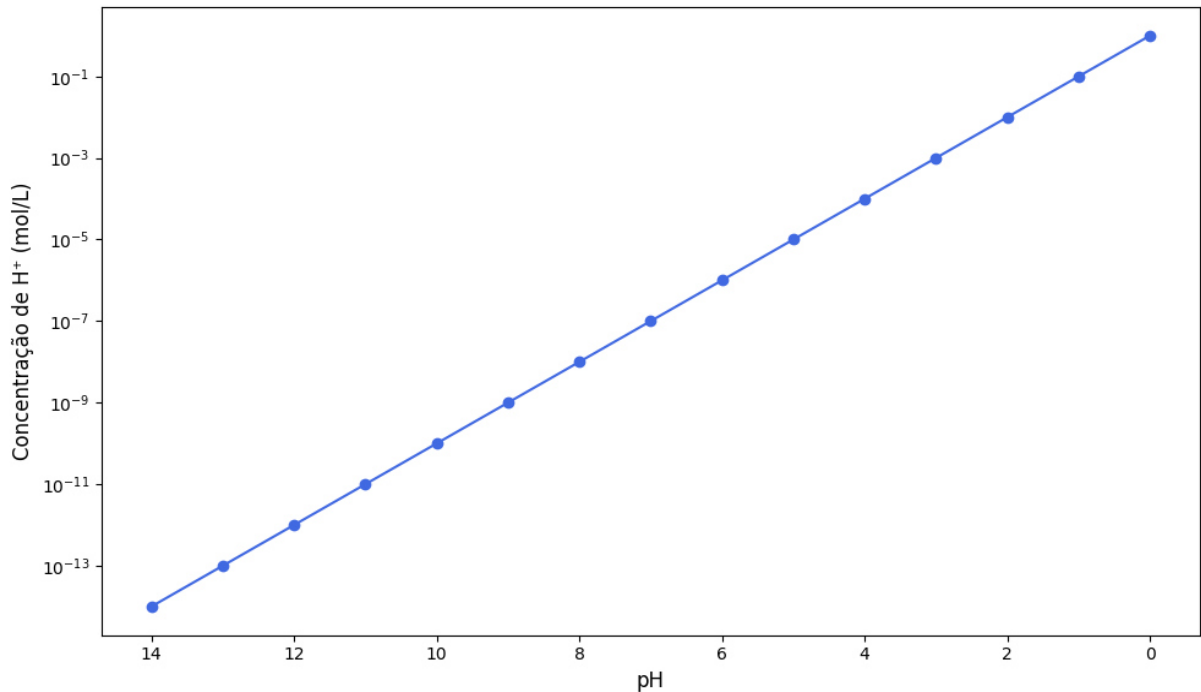
O pH é um número adimensional que indica a força de uma solução ácida ou básica. A água ácida contém íons de hidrogênio extras (H^+) e a água básica contém íons hidroxila extras (OH^-) (Summers, 2019, p.8).

Figura 16 - Escala de pH



Fonte: <https://blog.superfilter.com.br/o-que-e-o-ph-da-agua/>

Conforme ilustrado na Figura 16, a medição do pH está contida em uma escala que vai de 0 a 14. Segundo a Cetesb (2024), um pH menor que 7 indica um certo grau de acidez, assim como um pH maior que 7 indica um grau de basicidade, e, quando o pH é igual a 7 indica uma solução neutra, como água pura em condições padrão. A escala do pH é logarítmica de base 10, o que significa que cada mudança de unidade representa uma variação de 10 vezes na atividade de íons H^+ ou OH^- . De modo que uma amostra com o pH 5 é 10 vezes mais ácida que uma amostra indicando pH 6.

Gráfico 3 - Relação entre pH e Concentração de íons H^+ 

Fonte: Elaborado pelo autor

Essa relação é representada no Gráfico 3, no qual é possível observar a relação entre a concentração de íons H^+ em função do pH. Fica evidente a partir do gráfico, a relação inversamente proporcional entre o pH e a concentração de H^+ , evidenciando, assim, a disposição logarítmica da escala.

3.5.4 Fluoreto

O parâmetro flúor não está ligado diretamente com a qualidade da água. Segundo Standard Methods (2017), a aplicação de flúor no tratamento de água, se tornou uma questão de saúde pública. Em quantidade adequada o flúor é benéfico para a vitalidade bucal, todavia, se adicionado em excesso pode causar fluorose. Esse parâmetro está intrinsecamente ligado ao clima local, uma vez que a concentração do flúor está relacionada principalmente à temperatura local. Segundo a Fundação Nacional de Saúde (2012), a concentração de flúor na água deve ser ajustada com base na temperatura média da região.

De acordo com a portaria nº 635, de 26 de dezembro de 1975, a relação entre a concentração com a temperatura pode ser determinada a partir da equação 2:

$$C = \frac{22,2}{E} \quad (2)$$

Onde:

$$E = 10,3 + 0,725 * T$$

T = Média de temperaturas máximas diárias

3.6 Influência da Precipitação nos parâmetros estudados

3.6.1 Turbidez

De acordo com Penedo et al. (2023), o fator preponderante nos índices de turbidez é a precipitação, e isso se dá por meio de sua ação mecânica que desagrega as partículas dos solos e as transporta para os corpos hídricos. Nesse contexto, a turbidez é um parâmetro de grande importância para a qualidade da água, tendo grande importância para a saúde, pois a água com altos níveis de turbidez pode ocultar a presença de bactérias e microrganismos nocivos à saúde.

De acordo com os estudos de Oliveira e Cunha (2014), foi observado e comprovado estatisticamente por meio de teste de hipóteses que a Turbidez sofre uma influência significativa em períodos de chuvas.

Em estudos de GÖRANSSON (2013), ele que concluiu que a vazão do manancial tem um alto impacto na turbidez da água. Quanto maiores os índices pluviométricos maior é o impacto na turbidez da água.

Por meio de testes estatísticos ficou evidenciado que os níveis de turbidez, estão correlacionados de maneira proporcional, assim quando há uma combinação de chuvas fortes e altas vazões os resultados da turbidez da água são ligeiramente maiores do que em períodos de seca. Em contrapartida, em meses de seca ou baixa vazão, a turbidez se mantém em níveis estáveis (GÖRANSSON,2013).

3.6.2 pH

A influência da precipitação se manifesta, principalmente, em função da chuva ácida e seus impactos no ambiente.

O conceito de chuva ácida foi inicialmente introduzido pelo químico Robert Angus Smith em 1852, em um estudo que buscava correlacionar a acidez da chuva com a atividade industrial local.

De acordo com Carvalho Junior, (2004), as partículas que ficam em suspensão na atmosfera, seja por ação humana ou naturais tem impacto na composição final da precipitação. A parcela antropogênica é resultante da emissão de gases, como No_x e So_2 , provenientes de processos de combustão (Mirlean,2000).

Segundo Mirlean, 2000, correlaciona a chuva ácida a áreas urbanas e industriais, sendo essas responsáveis por grande emissão de gases que contribuem para o aumento pH da chuva.

No período de ocorrência de chuvas ácidas, as primeiras precipitações apresentam um pH ainda menor, pois atuam como um processo de limpeza de atmosférica. Essas chuvas

refletem de maneira mais realista o nível de poluição presente no local (Mirlean, 2000).

De acordo com Longhurst (1993), a chuva ácida provoca alterações no pH de corpos hídricos de água doce. O impacto da acidez causado pela chuva pode afetar lagos, rios, mananciais subterrâneos e até mesmo os solos (Mason & Seip, 1985).

Entender a dinâmica entre precipitação e pH é importante por diversos fatores operacionais, como o processo de desinfecção e danos estruturais. Um pH alto pode afetar a eficiência de coagulantes, afetando o processo de desinfecção que garante a segurança sanitária da água fornecida. Além disso, um pH elevado pode provocar corrosão nas tubulações, gerando custos com manutenção, além de contaminar a água com resíduos metálicos.

Os níveis de pH da água podem impactar diretamente a saúde pública. De acordo com a Portaria GM/MS nº 888/2021, que estabelece os padrões de potabilidade da água destinada ao consumo humano no Brasil, o pH da água deve ser mantido na faixa de 6,0 a 9,5 para que não haja riscos à saúde.

3.6.3 Fluoreto

Em estudo realizado por Santos et al. (2016) analisando a concentração de fluoreto em estações de tratamento de água, no estudo foi realizado um comparativo entre meses chuvosos e secos. Os resultados obtidos evidenciaram que nos meses de chuvas a concentração de flúor foi menor do que se comparado aos meses de secas.

Lima et al. (2004), ao avaliarem 16 estações de tratamento de água, identificaram que o controle da concentração de Flúor nas ETAs apresenta grande dificuldade, pois dos 16 pontos analisados apenas 1 manteve a constância de resultados no período de dois anos.

Lima et al. (2004), atribuem a variabilidade da concentração de Flúor em ETAs a fatores como falta de treinamento do operador, problemas em equipamentos e variações do fluxo de água.

O controle do fluoreto é de grande importância devido aos seus aspectos importantes à saúde humana. De acordo com Frazão et al. (2011), a concentração ideal de fluoreto na água para prevenir cáries situa-se entre 0,6 e 0,9 mg/Valores superiores a esse intervalo, representam risco elevado de fluorose dentária, especialmente em crianças com até de oito anos de idade.

3.7 Testes estatísticos

A estatística é ferramenta fundamental na análise de dados, uma vez que permite investigar padrões, comportamento e tendências entre variáveis. De acordo com Moya (2021), a aplicação da estatística é utilizada em diversos tipos de pesquisas, com objetivo de resumir

dados, organiza-los e correlacionar dois ou mais grupos. A análise estatística existente nas pesquisas científicas permite a avaliação dos dados coletados, para que os resultados e conclusões possam auxiliar na tomada de decisão (Moya ,2021, p. 1).

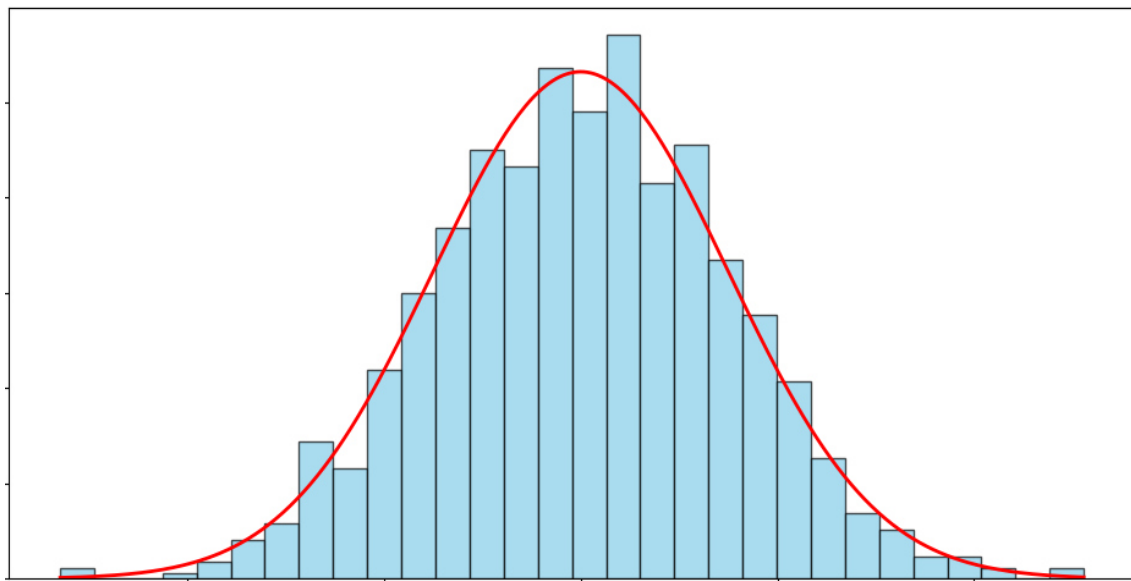
Conforme destaca Moya (2021), a escolha inadequada dos testes estatísticos pode prejudicar a análise dos dados e resultar em conclusões equivocadas, comprometendo a qualidade e a credibilidade da pesquisa.

3.7.1 Escolha do teste estatístico

Segundo Moya (2021), existem três fatores que direcionam para a escolha do teste estatístico, o primeiro é o tipo de distribuição de dados que, pode ser normal ou não normal, o tipo de dado, qualitativo ou quantitativo, e o tipo de amostras.

O primeiro passo para a escolha do teste é determinar a normalidade da sua distribuição, a verificação da normalidade, é feita geralmente por histograma. Em uma amostra com distribuição normal, o histograma se apresentará em forma de “sino”, enquanto se apresentará com uma “cauda” em uma distribuição não normal (Moya ,2021, p. 8).

Figura 17 – Distribuição normal



Fonte: Elaborada pelo autor

Segundo Moya (2021), além da análise gráfica, é possível determinar a distribuição dos dados através de testes como Shapiro-Wilk e Kolmogorov-Smirnov. A condição de aplicação de cada um dos testes citados estar relacionado com a quantidade de amostras do conjunto estudado, caso o conjunto tenha mais de 51 elementos aplica-se Kolmogorov-Smirnov,

enquanto o teste de Shapiro-Wilk se aplica para conjunto que tenha entre 2 a 51 elementos.

A partir da distribuição de dados é possível determinar qual teste é mais adequado para o conjunto de dados. A aplicação correta do teste vai permitir obter resultados de mais precisos e de credibilidade.

Os testes de correlação buscam confirmar a existência de uma relação entre duas ou mais variáveis. Esses testes conseguem definir a força e a direção da correlação estudada. Os principais testes utilizados para esse fim são os coeficientes de correlação de Pearson e Spearman.

Para se verificar a existência de uma correlação linear entre duas variáveis quantitativas, provenientes de amostras com distribuição normal, utiliza-se o coeficiente de correlação linear de Pearson. O coeficiente de correlação linear r mede a força de correlação linear entre os valores emparelhados de dados amostrais. O valor de r está entre -1 e 1 (Moya, 2021, p. 23).

O Teste de Correlação de postos de Spearman é um teste não paramétrico que utiliza postos de dados amostrais (pares combinados) para verificar a associação entre duas variáveis. Diferente do Teste de Correlação de Pearson, que utiliza dados amostrais em pares, o Teste de Correlação de Spearman utiliza postos de dados em pares para calcular o coeficiente de correlação r . Outra diferença fundamental é que o Teste de Correlação de Pearson requer dados provenientes de amostras com distribuição normal, enquanto o Teste de Correlação de Spearman pode ser utilizado em amostras com distribuição não-paramétrica (Moya, 2021, p. 25).

A tabela 6 mostra a principal diferença para a escolha do teste estatístico.

Tabela 6 – Diferenças entre teste de correlação

Teste	Distribuição
Correlação de Pearson	Normal
Correlação de Spearman	Não normal

Fonte: Adaptado Moya (2021)

4.0 METODOLOGIA

4.1 Análise dos Dados

A análise de dados é composta por seis etapas fundamentais: (1) definição de objetivos, (2) coleta dos dados, (3) tratamento e preparação dos dados, (4) análise estatística, (5) discussão dos resultados, e (6) visualização por meio de gráficos e tabelas.

4.2 Coleta dos dados

A coleta de dados foi realizada a partir de duas fontes. Para os parâmetros físico-químicos, foi realizado uma solicitação pelo Portal de Transparência do Estado do Ceará, e os dados pluviométricos foram coletados diretamente do site da Funceme. Os dados utilizados no presente trabalho foram obtidos a partir de análises físico-químicas realizadas em amostras de água tratada. A série de amostras coletadas é referente do ano de 2023 até 2024 essas amostras foram coletadas ao longo do ano em diferentes condições sazonais. As coletas e seus respectivos testes foram realizados, conforme a Resolução N°357/05 e o Standard Methods, garantindo, assim, a integridade legal e dos processos envolvidos na análise.

4.3 Tratamento de Dados

Os dados obtidos foram organizados em planilhas. Em seguida foi realizada uma triagem para identificar e corrigir problemas com os dados. Geralmente, esses problemas são inconsistências nos valores preenchidos, valores em branco, duplicados ou ausentes. Além disso, foi feita uma padronização do formato dos dados.

4.4 Estrutura da Análise de Dados

Para realizar uma análise de dados consistente, o processo foi dividido em cinco etapas. Cada uma foi planejada para garantir uma melhor sistematização dos dados obtidos, de modo que os métodos estatísticos possam ser aplicados corretamente. Os tópicos abaixo descrevem as etapas adotadas para a análise de dados.

4.4.1 Definição dos grupos

Para realizar uma análise consistente, os dados foram organizados de maneira significativa. Para isso os dados, foram agrupados em seus respectivos anos, e parâmetros. Como o objetivo do trabalho é avaliar como a sazonalidade influencia nos parâmetros físico-químicos, seguindo essa premissa os dados foram segmentados conforme a estação de tratamento responsável, ETA Gavião e ETA Oeste.

4.4.2 Análise da distribuição dos dados

Cada conjunto de dados tem seu tipo de distribuição. A distribuição dos dados revela como esses valores se agrupam e, a partir do arranjo dos dados, é possível aplicar o método estatístico apropriado para a análise. A verificação da normalidade dos dados está intrinsecamente ligada à confiabilidade e a validação dos resultados da análise. A atribuição

incorreta dos dados pode levar a conclusões equivocadas e, por conseguinte, comprometer toda a interpretação da análise. O conjunto de dados analisados é menor do que 51 elementos, logo o teste de Shapiro-Wilk foi aplicado

Com o auxílio do Python foi aplicado o teste de Shapiro-Wilk para analisar a distribuição dos dados, para uma melhor validação dos resultados foi considerado um valor de significância em 5%. A Figura 18 demonstra uma parte do código usado nessa verificação.

Figura 18 - Teste de Normalidade

```
colunas_test = ['pH', 'Precipitação']

# Executa o teste de Shapiro-Wilk para cada coluna
for col in colunas_test:
    stat, p = shapiro(df[col])
    print(f'Teste de Shapiro-Wilk para {col}:')
    print(f'Estatística W = {stat:.4f}, valor-p_Significância = {p:.4f}')
    if p > 0.05:
        print('✅ Normal (p > 0.05)\n')
    else:
        print('❌ Não é normal (p <= 0.05)\n')
```

Fonte - Elaborado pelo autor

4.4.3 Escolher o teste

A correlação de Spearman foi aplicado quando a distribuição dos dados seguiu uma distribuição não paramétrica. A correlação é demonstrada na equação 3

$$S = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n*(n^2-1)} \quad (3)$$

Quando os dados apresentaram distribuição normal, foi utilizada a correlação de Pearson, conforme demonstrado na Equação 4.

$$P = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n\sum x^2 - (\sum x)^2] * [n\sum y^2 - (\sum y)^2]}} \quad (4)$$

4.4.4 Interpretação dos resultados

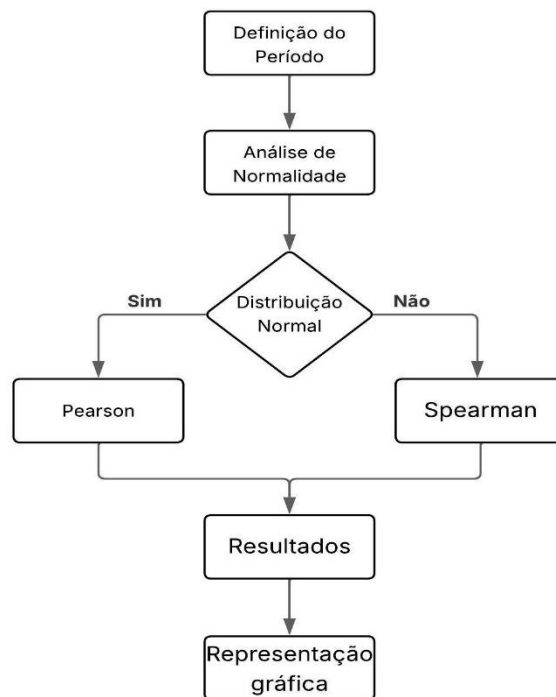
Após as verificações para garantir a confiabilidade e a validação dos dados, os resultados da análise foram interpretados, considerando-se o nível de significância de 5%. A interpretação dos dados permitiu identificar se a sazonalidade exerce influência no parâmetro analisado ou se até mesmo o tipo de tratamento adotado na ETA pode ter impacto nos resultados obtidos.

4.4.5 Visualização dos resultados

Essa etapa é complementar à interpretação dos resultados, pois representações visuais facilitam a visualização dos resultados. Foram elaborados gráficos avaliando cada cenário analisado. A representação gráfica é fundamental, uma vez que contribui para a compreensão mais objetiva dos dados.

A Figura 19 resume a estrutura utilizada na análise dos dados

Figura 19 - Estrutura da Análise de Dados



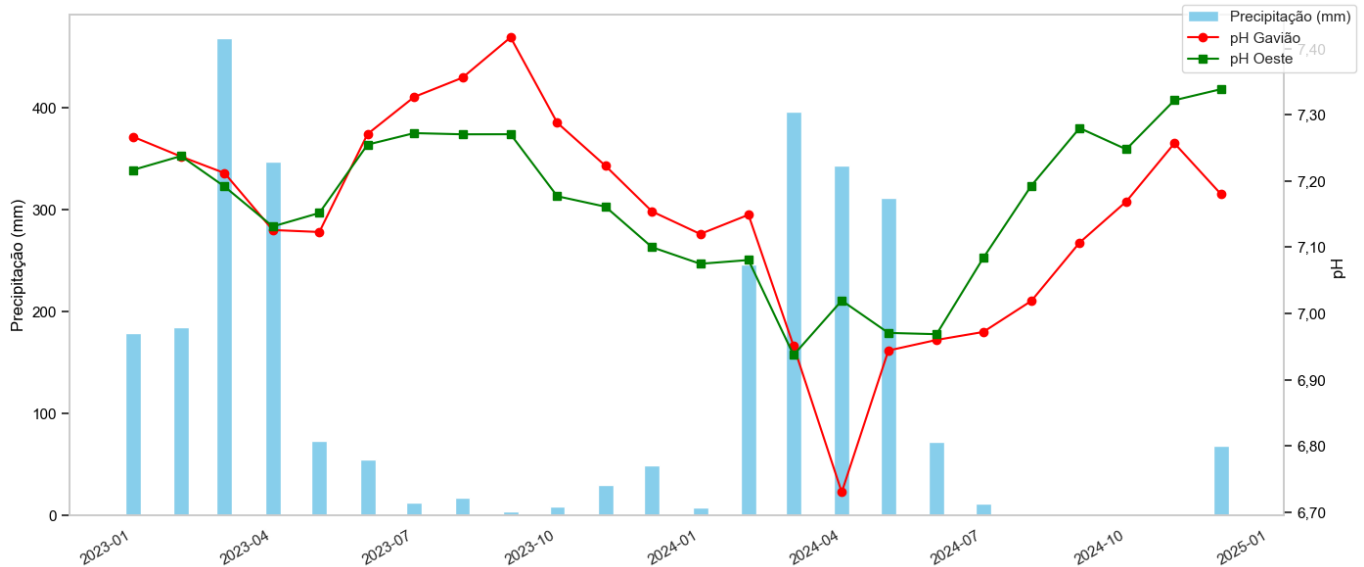
Fonte: Elaborado pelo autor

5.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 pH

O comportamento do pH em relação a precipitação foi analisada em período entre 2023 e 2024, e o resultado é ilustrado no gráfico 4.

Gráfico 4 - Relação entre pH e a Precipitação

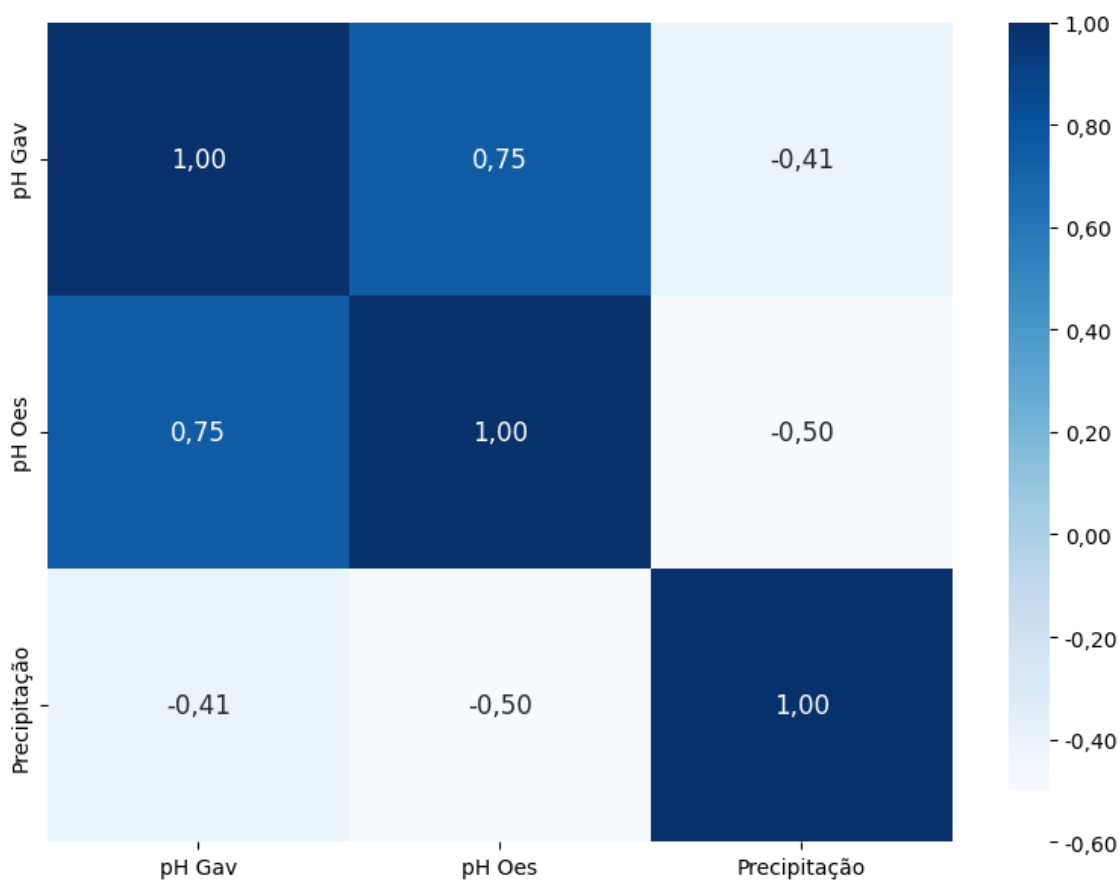


Fonte: elaborado pelo autor

O gráfico 4 apresenta a evolução mensal da precipitação e do pH de amostras analisadas da Estação de Tratamento Gavião e Oeste, entre o janeiro de 2023 e dezembro de 2024. O gráfico 4 mostra a variação do pH e sua relação com a precipitação. É possível identificar que, em alguns meses com altos índices pluviométricos, há uma queda nos valores de pH. Todavia, não é possível concluir que existe uma relação forte entre os meses com altos índices pluviométricos e os valores baixos de pH, pois o gráfico fornece apenas padrões gerais, não permitindo quantificar a intensidade ou a direção da correlação de forma precisa.

Nesse contexto, o gráfico 5 complementa a análise ao fornecer uma abordagem estatística mais robusta, por meio de uma matriz de correlação. A inclusão dessa abordagem permite mensurar a força e a direção da relação entre pH e precipitação permitindo quantificar a correlação entre os dois parâmetros.

Gráfico 5 – Matriz de Correlação entre pH e Precipitação



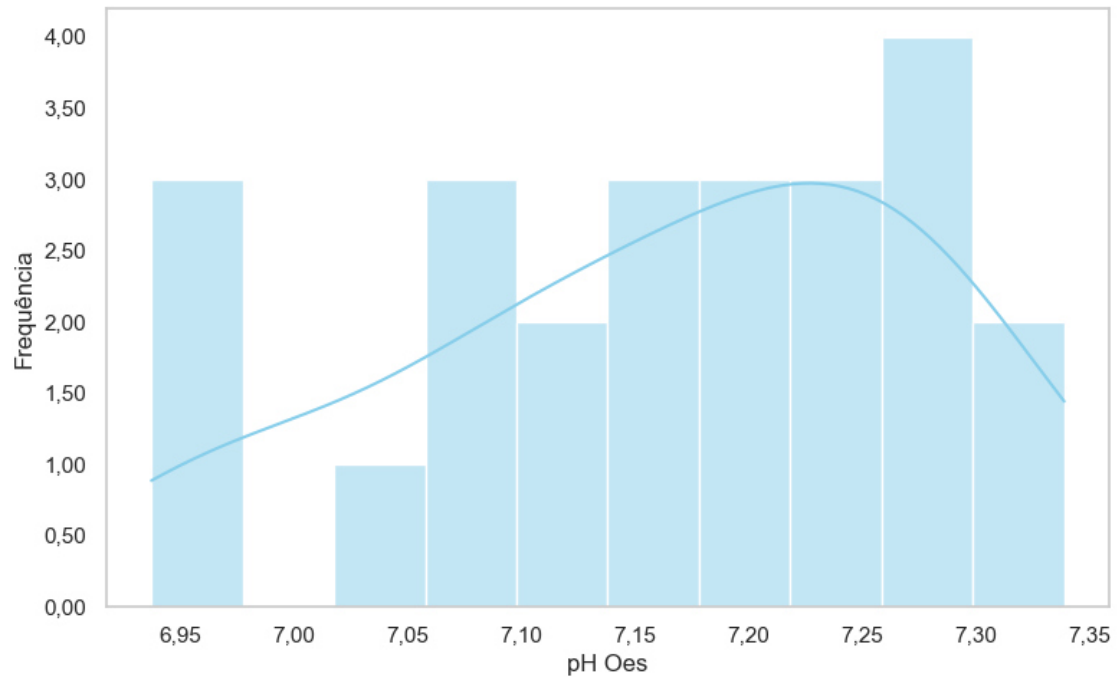
Fonte: elaborado pelo autor

Com essa matriz, é possível medir a força e a direção da relação entre pH e a precipitação. A partir dessa análise, é observado que a relação entre pH e precipitação, é diferente nas duas ETAs estudadas. Para a ETA Gavião é conferido uma força de 0,41, enquanto para ETA Oeste o resultado foi de 0,50, indicando uma correlação moderada entre a precipitação e o pH. Outra análise que é possível obter do gráfico é a direção da correlação, que, neste caso, é negativa. Isso significa que o aumento da chuva provoca uma diminuição do pH das águas fornecidas pelas estações de tratamento.

No entanto para comprovar definitivamente a relação entre pH e precipitação é estatisticamente significativa e não ocorreu pelo acaso, foram necessários aplicar testes estatísticos. Nos testes realizados foram obtidos para a ETA Gavião um p de significância de 0,041 e para ETA Oeste 0,044. Como ambos os valores são inferiores ao nível de significância de 0,05, pode-se concluir que há uma correlação estatisticamente significativa entre a precipitação e o pH tanto na ETA Gavião quanto na ETA Oeste. Esses resultados validam, estatisticamente, a tendência observada de que o aumento da precipitação está associado à redução dos valores de pH da água tratada.

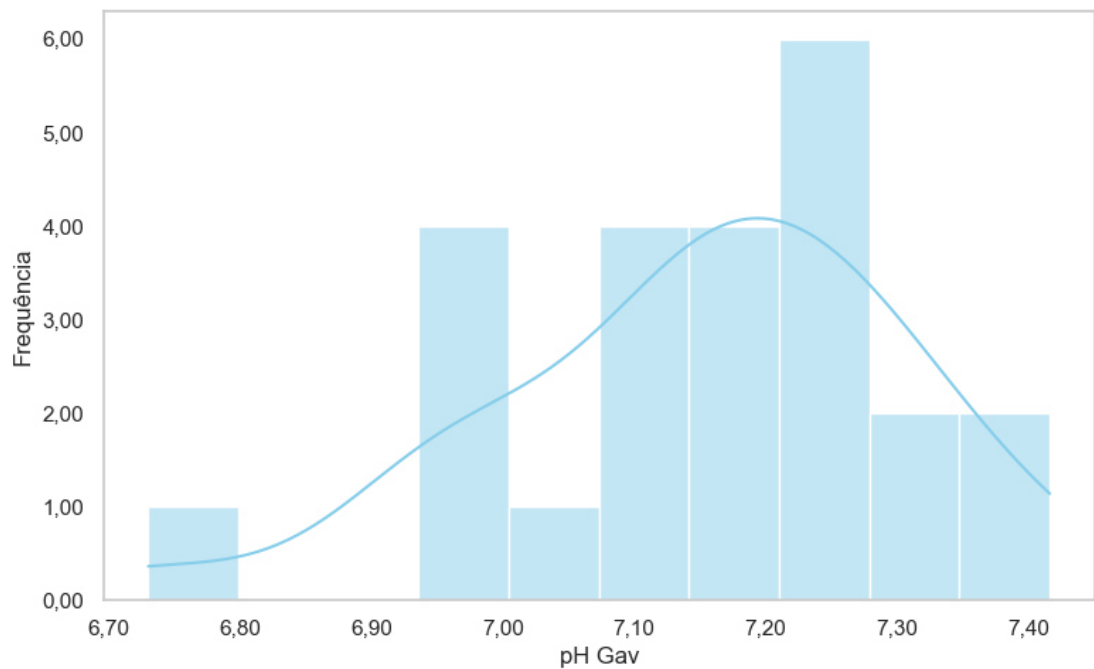
Para avaliar essa significância, foi realizada a verificação da distribuição dos dados, os resultados estão ilustrados, nos gráficos 6,7 e 8, respectivamente.

Gráfico 6 - Distribuição do pH na ETA Oeste



Fonte: elaborado pelo autor

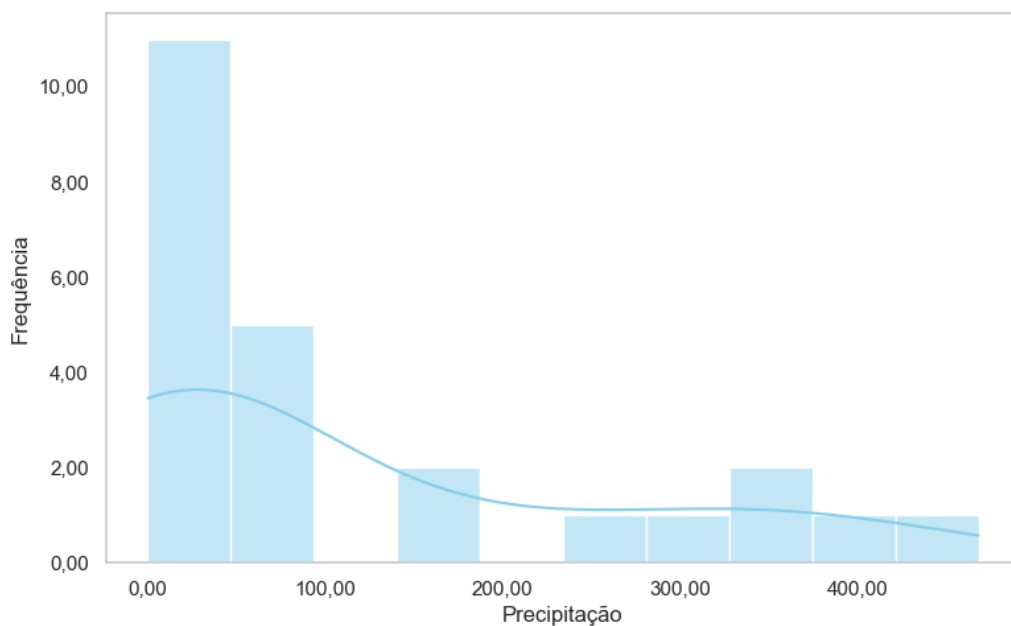
Gráfico 7 - Distribuição do pH na ETA Gavião



Fonte: elaborado pelo autor

Os gráficos 6 e 7, que representam a distribuição de pH das Estações de Tratamento Gavião e Oeste, apresentaram uma distribuição normal, ou seja, os valores estão próximos da média. A precipitação apresentou o comportamento esperado, uma distribuição não normal, esse cenário está associado ao fato de que a precipitação é um fator sazonal. Essa sazonalidade concentra os dados em um período específico do ano, gerando uma distribuição assimétrica. Tal resultado está alinhado com as tendências climáticas do estado do Ceará, que apresenta alta variabilidade e imprevisibilidade dos índices de chuvas.

Gráfico 8 - Distribuição da precipitação nos anos de 2023- 2024



Fonte: elaborado pelo autor

A tabela 7 apresenta os parâmetros estatísticos obtidos com a aplicação dos testes estatísticos.

Tabela 7 - Parâmetros estatísticos

Variáveis	Teste estatístico Spearman	Valor - p
pH Gavião X Precipitação	-0,42	0,041
pH Oeste X Precipitação	-0,51	0,044

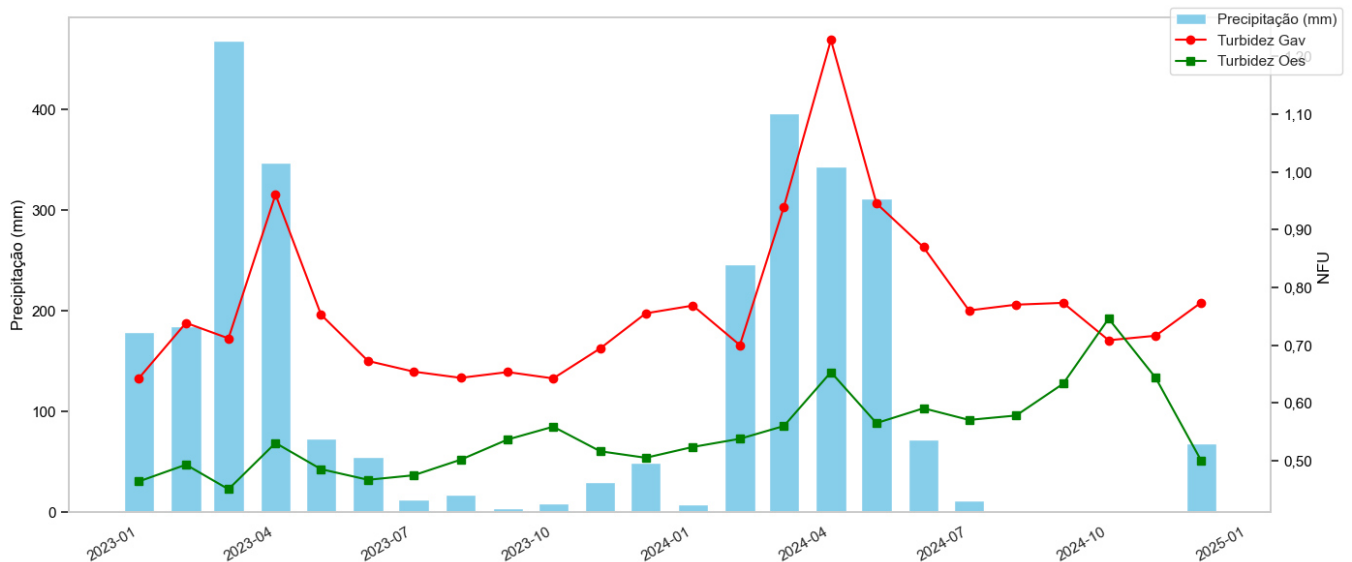
Fonte: elaborado pelo autor

Os resultados da tabela 6 corroboram e comprovam os resultados mostrados no gráfico 5. Os valores mostrados na tabela 6 comprovam estatisticamente que existe uma correlação entre o pH da água e a precipitação, apesar de ser uma relação moderada.

5.2 Turbidez

O gráfico 9 apresenta um panorama geral do comportamento da relação entre a turbidez e a precipitação referente aos anos de 2023 e 2024. Analisando os pontos referente a ETA gavião é possível identificar que nos meses em que há maiores índices pluviométricos os níveis de turbidez da água tratada na ETA aumentam, o mesmo comportamento não é observado para a ETA Oeste. As principais diferenças entre as estações de tratamento são as vazões e o métodos de tratamentos aplicado. A ETA Gavião faz uso no método convencional e a ETA Oeste utiliza o tratamento de dupla filtração. Embora o gráfico forneça uma visão geral das tendências observadas, ele não é suficiente para comprovar uma correlação estatisticamente significativa entre turbidez e precipitação. Para isso, é necessário o uso de testes estatísticos apropriados que avaliem a força e a significância dessa relação.

Gráfico 9 - Panorama entre a Turbidez e a Precipitação no ano de 2023 e 2024



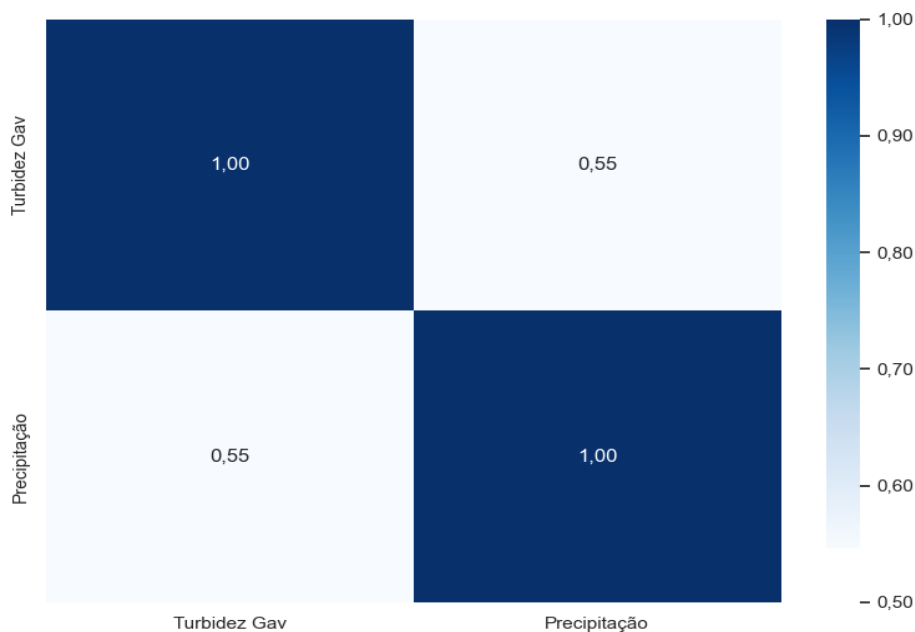
Fonte: Elaborado pelo autor

5.2.1 Turbidez ETA Gavião

Para o melhor entendimento da relação entre turbidez e precipitação, foi utilizada uma

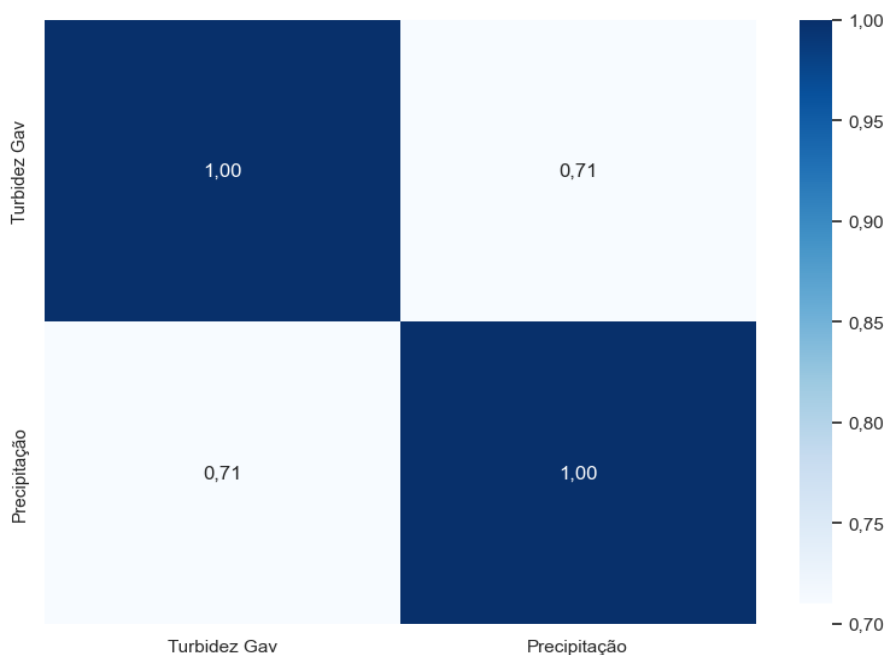
abordagem estatística mais robusta, por meio de matrizes de correlação. Os gráficos 10 e 11 são matrizes de correlação, representando respectivamente os anos de 2023 e 2024. A partir delas é possível verificar melhor a relação entre turbidez e precipitação, além disso, é possível analisar a força e a direção da correlação.

Gráfico 10 - Matriz de Correlação entre Turbidez e pH no ano de 2023



Fonte: Elaborado pelo autor

Gráfico 11 - Matriz de correlação entre Turbidez e Precipitação no ano de 2024



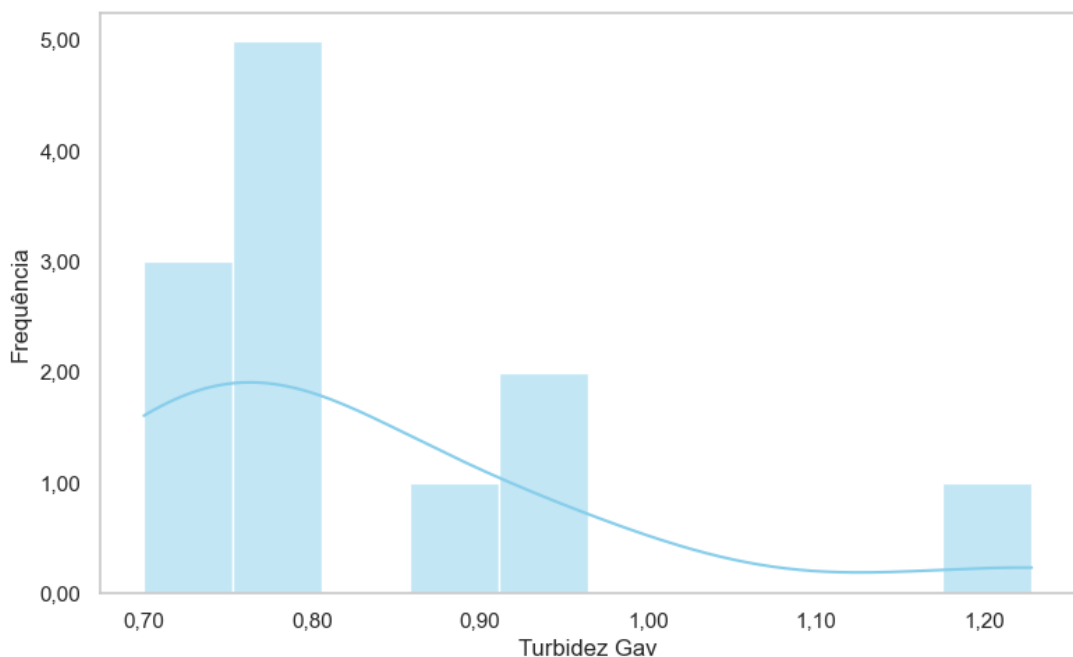
Fonte: Elaborado pelo autor

No ano de 2023 a correlação entre a chuva e a turbidez, apresentou um índice moderado de 0,55 e uma direção positiva, ou seja, em períodos chuvosos a turbidez da água tende a aumentar de maneira moderada. Avaliando o ano de 2024 essa correlação subiu para 0,71, esse valor já é considerado com a uma correlação forte. Esse cenário, evidencia que em 2024, os índices pluviométricos exerceram uma influência ainda mais significativa sobre o parâmetro turbidez. Tal comportamento pode ser justificado pela elevação da média pluviométrica dos meses chuvosos na área de estudo, enquanto na quadra chuvosa de 2023 a média pluviométrica foi 294,625 mm, e em 2024 essa média aumentou para 324,4 mm.

De acordo com Göransson (2013), quando há uma combinação de chuvas intensas e altas vazões, os valores de turbidez da água tendem a aumentar. Os resultados confirmam a tendência do estudo, uma vez que a ETA Gavião opera em altas vazões, $10 \text{ m}^3/\text{s}$, e em períodos de chuvas os níveis de turbidez aumentaram. Essa relação foi especialmente evidente em 2024, quando os índices pluviométricos foram superiores aos de 2023 e a turbidez também apresentou um aumento em relação ao ano anterior.

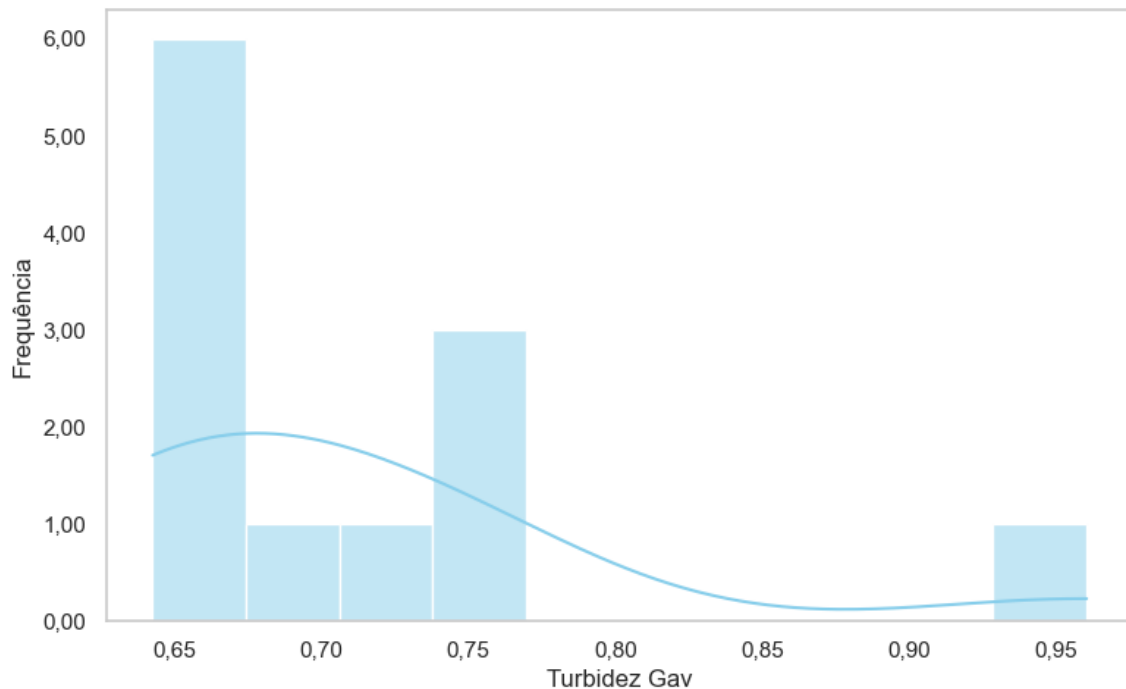
Para comprovar a veracidade dos dados obtidos, a distribuição dos dados de 2023 e 2024 foram analisadas, e são demonstradas nos gráficos 12 e 13. As distribuições evidenciam um formato assimétrico da curva, ou seja, os dados de turbidez para os anos de 2023 e 2024 seguem uma distribuição não normal.

Gráfico 12 - Distribuição da turbidez na ETA Gavião no ano de 2023



Fonte: Elaborado pelo autor

Gráfico 13 - Distribuição da turbidez na ETA Gavião no ano de 2024



Fonte: Elaborado pelo autor

Esse comportamento está relacionado à influência da precipitação na turbidez. A precipitação é um fator sazonal e sua ocorrência, no Estado do Ceará, está delimitada, principalmente, durante a quadra chuvosa que, geralmente se estende de janeiro a abril. Como a turbidez apresenta uma forte ligação com a precipitação, os valores altos de turbidez estão concentrados no início do ano, justificando, assim, o formato assimétrico observado nas distribuições. Esse padrão assimétrico indica que os dados seguem uma distribuição não normal. Por esse motivo, foi aplicado o teste não paramétrico de Spearman, adequado para dados que não atendem à suposição de normalidade.

A utilização desse teste fortalece a confiabilidade dos resultados apresentados e evidencia a necessidade de considerar características específicas da série temporal na escolha dos métodos estatísticos. Os resultados obtidos estão demonstrados na Tabela 8.

Tabela 8 - Parâmetros estatísticos para ETA Gavião

Período	Teste estatístico Spearman	Valor p
2023	0,59	0,0415
2024	0,58	0,0459

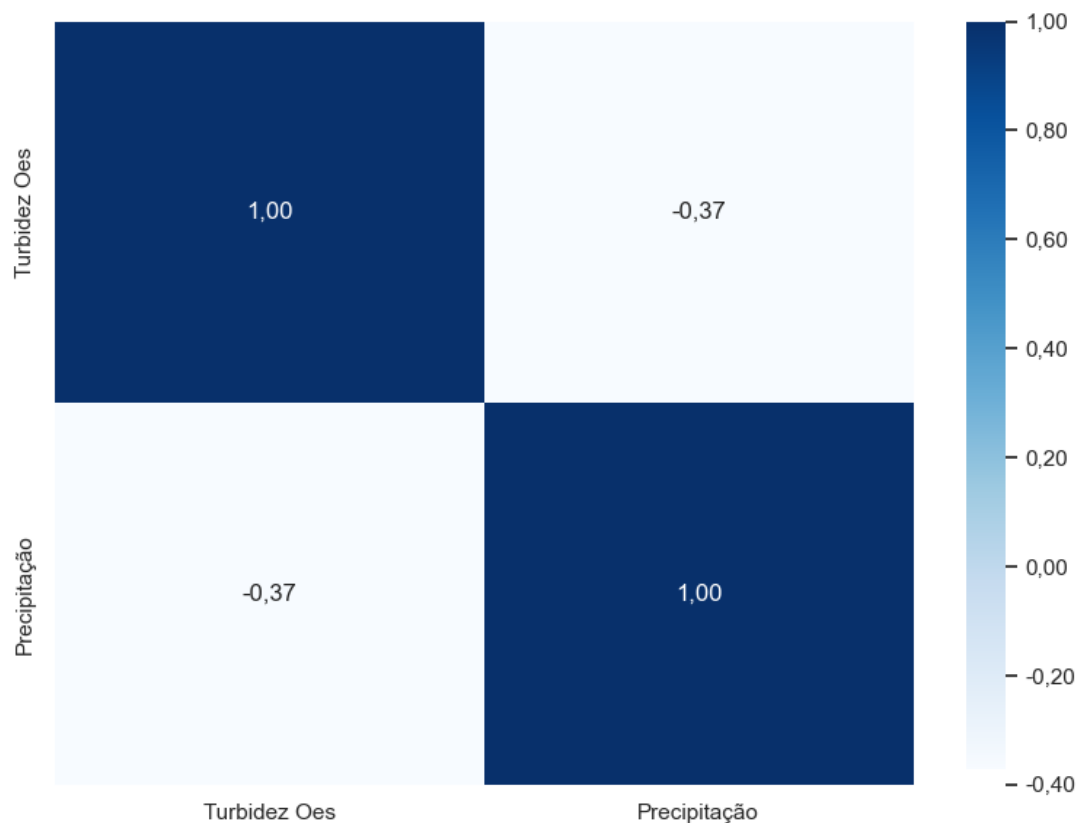
Fonte: Elaborado pelo autor

A tabela 7 corrobora os resultados obtidos nos gráficos 10 e 11. Além disso, os valores indicam que a correlação é estatisticamente válida, pois os valores p de significância obtidos estão abaixo do nível de 5% de significância. Portanto, para a ETA Gavião, os dados analisados durante os anos de 2023 e 2024 confirmam a existência da correlação entre turbidez e precipitação.

5.2.2 Turbidez ETA Oeste

A partir do gráfico 9, não é possível perceber alguma relação entre a turbidez e a precipitação para a ETA Oeste no período entre 2023 e 2024. Os gráficos 14 e 15 trazem uma melhor representação da correlação entre parâmetros analisados

Gráfico 14 - Matriz de correlação entre Turbidez e Precipitação no ano de 2023 da ETA Oeste



Fonte: Elaborado pelo autor

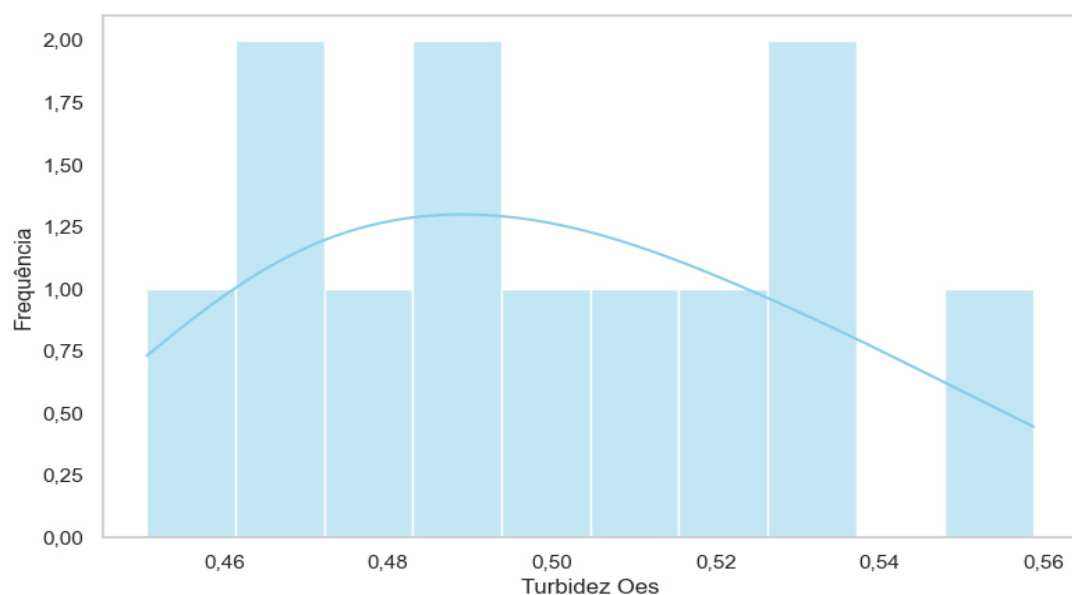
Gráfico 15- Matriz de correlação entre Turbidez e Precipitação no ano de 2024



Fonte: Elaborado pelo autor

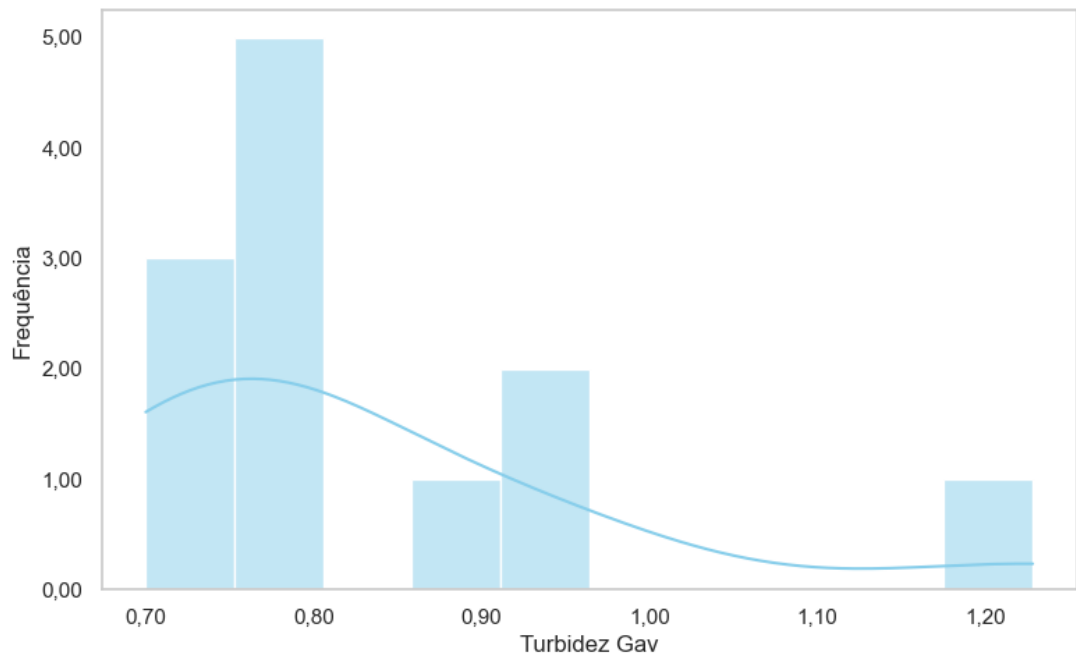
Analisando as matrizes de correlação para os anos de 2023 e 2024, é possível observar que a correlação entre a turbidez e a precipitação nos dois anos é baixa e negativa, sendo respectivamente -0,37 e -0,17. Esses resultados evidenciaram que os índices pluviométricos pouco influenciaram os níveis de turbidez. Essa tendência é oposta à observada na ETA Gavião. Os gráficos 16 e 17 mostram a distribuição dos dados de turbidez ao longo dos dois anos analisados

Gráfico 16 - Distribuição da Turbidez no ano de 2023



Fonte: Elaborado pelo autor

Gráfico 17 - Distribuição da Turbidez no ano de 2024



Fonte: Elaborado pelo autor

Os resultados obtidos nos gráficos 16 e 17 mostram que a distribuição da turbidez nos anos de 2023 e 2024 é normal. Esses resultados indicam que os valores estão próximos da média, com desvio padrão baixo em relação à média. Esses resultados evidenciam a eficiência operacional da ETA Oeste, pois mesmo em períodos de chuva, conseguiu manter os níveis de turbidez estáveis.

A partir dos resultados das distribuições dos dados foi aplicado o teste estatístico usando a correlação de desvio, para a comprovação dos resultados. Os resultados estão demonstrados na tabela 9

Tabela 9 - Parâmetros estatísticos ETA Oeste

Período	Teste estatístico Spearman	Valor p
2023	0,46	0,326
2024	0,34	0,805

Fonte: Elaborado pelo autor

Considerando apenas o valor dos coeficientes da correlação de desvio, 0,46 para 2023 e 0,34 para 2024, seria possível afirmar que existe uma correlação moderada em 2023 e uma correlação fraca em 2024. No entanto, o p de significância não sustenta essa associação, pois os valores do p de significância estão acima de 5%, indicando que a correlação entre os parâmetros não é estatisticamente significativa. Esses resultados reforçam as conclusões dados

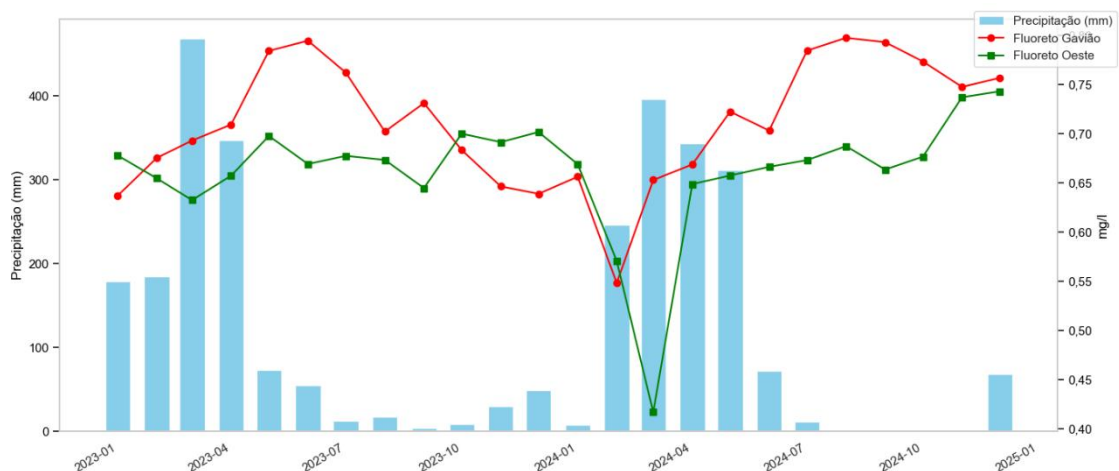
dos gráficos 16 e 17 indicando que, apesar de variações aparentes, não há evidência estatística sólida para confirmar uma associação consistente entre a turbidez e a precipitação na ETA Oeste.

De acordo com Penedo et al. (2023), o fator preponderante nos índices de turbidez é a precipitação, e isso se dá por meio de sua ação mecânica que desagrega as partículas dos solos e as transporta para os corpos hídricos. É papel do sistema de filtração atenuar essa turbidez. A ETA Oeste, diferentemente, da ETA Gavião tem um sistema de filtração dupla, ascendente de descendente, esse sistema é eficiente para a remoção da turbidez da água, sendo eficiente em variações bruscas de turbidez, que nesse caso seria causado pela precipitação. Além disso, a ETA Oeste trabalha com de 1,9 m³/s, uma vazão baixa se comparada a ETA Gavião. O sistema filtração aliado à baixa vazão são fatores operacionais que colaboram para que mesmo em períodos chuvas não haja uma grande alteração na turbidez da água.

5.3 Fluoreto

O gráfico 18 mostra o comportamento da concentração de fluoreto nas ETAs estudadas, no período de 2023 a 2024. Os resultados apresentam um comportamento imprevisível para a concentração do flúor, comparando o mesmo período nos anos de 2023 e 2024, é possível identificar diferenças significativas. Essa variação se aplica tanto para a ETA Gavião quanto para a ETA Oeste.

Gráfico 18- Comportamento da Concentração de Fluoreto nas ETAs Gavião e Oeste em 2023 e 2024



Fonte: Elaborado pelo autor

As tabelas 9 e 10 mostra como a precipitação tem influência da concentração de Fluoreto. Para a ETA Gavião no período compreendido de janeiro de 2023 até dezembro de

2024, têm-se que a média em períodos secos a média da concentração de fluoreto foi 10,7% maior do que em período chuvosos. A média aumentou de 0,6634 mg/L em períodos de chuva para 0,7346 mg/L nos períodos de secas, indicando uma possível relação entre a diminuição da concentração de fluoreto e a precipitação.

Tabela 10 - Parâmetros estatísticos descritivos para ETA Gavião 2023-2024

Teste estatístico	Meses Chuvosos	Meses Secos
Média	0,6634	0,7346
Desvio padrão	0,0508	0,0539
Mínimo	0,5483	0,6447
Máximo	0,7224	0,7973

Fonte: Elaborado pelo autor

A tabela 10 faz a mesma análise da tabela 11, mas aplicada a ETA Oeste. Os resultados obtidos mostram a mesma relação encontrada na ETA Gavião. Na ETA, no período de compreendido de janeiro de 2023 a dezembro de 2024, tem se que a média em período de seca foi 11,58% maior do que em períodos de chuvas. A média em período de seca caiu de 0,6857 mg/L para 0,6146 em meses de chuvas. Outro ponto a destacar é o desvio padrão relativamente alto na ETA Oeste no período de chuvas, indicando uma maior instabilidade da concentração de flúor nesse período.

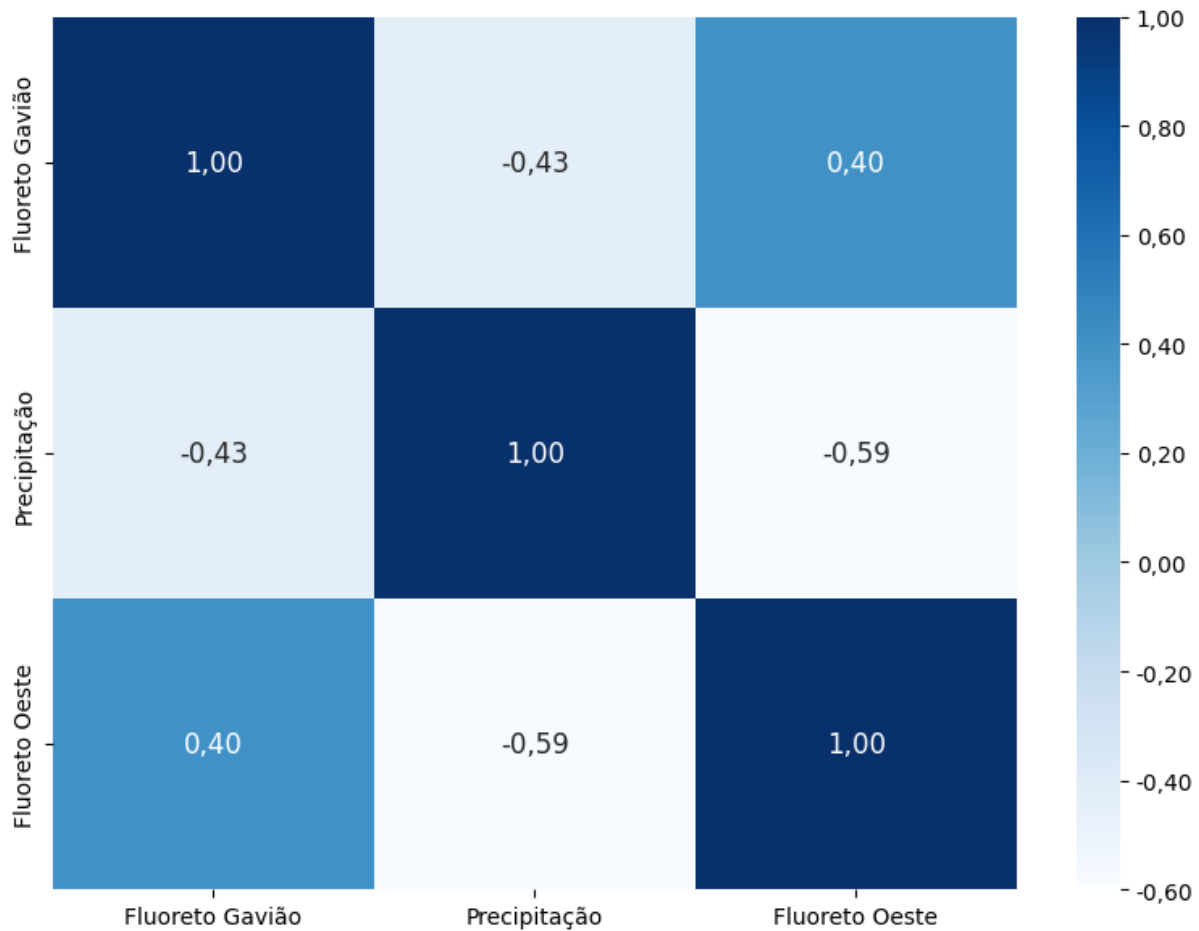
Tabela 11 - Parâmetros estatísticos descritivos para ETA Oeste 2023-2024

Teste estatístico	Meses Chuvosos	Meses Secos
Média	0,6146	0,6857
Desvio padrão	0,0804	0,0251
Mínimo	0,4171	0,6447
Máximo	0,6779	0,7430

Fonte: Elaborado pelo autor

Através do gráfico 19 é possível analisar a força da relação entre a precipitação e a concentração de fluoreto.

Gráfico 19 - Matriz de Correlação entre a concentração de fluoreto e a precipitação para os anos de 2023 e 2024



Fonte: Elaborado pelo autor

A partir do gráfico 19, é possível quantificar o quão forte é a relação concentração de fluoreto e precipitação. Para a ETA Gavião verifica-se que o coeficiente de correlação é -0,43, evidenciando uma correlação de força moderada. Já na ETA Oeste o coeficiente é levemente maior, sendo -0,59, esse valor de coeficiente indica uma relação moderadamente forte entre os parâmetros analisados.

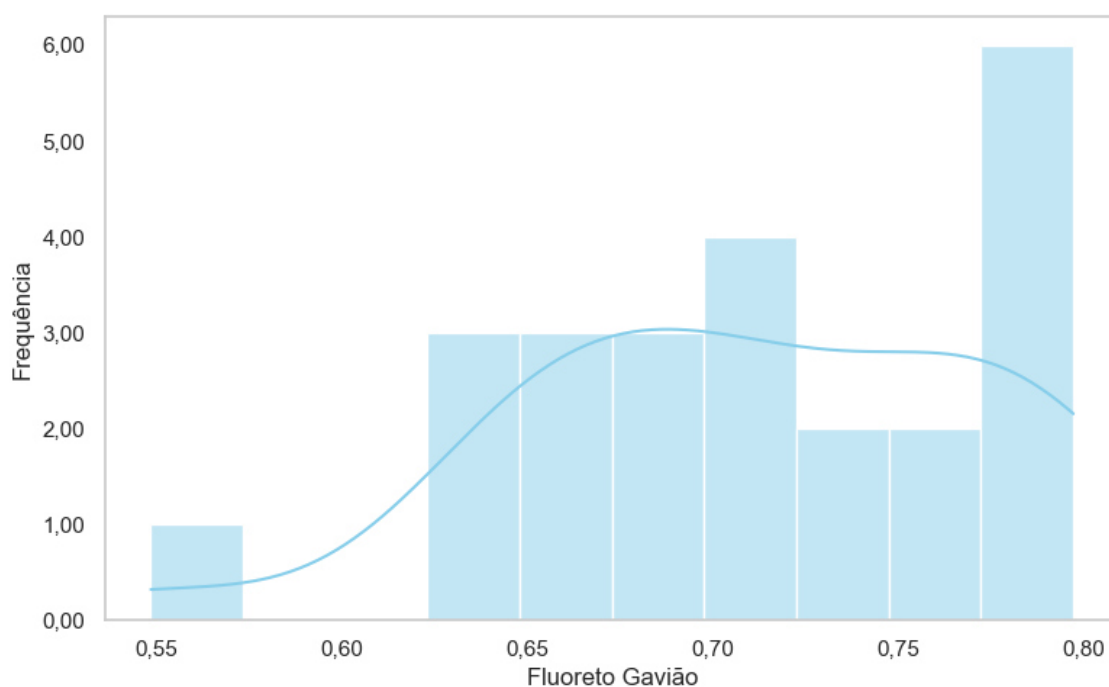
Outro aspecto, que é possível analisar do gráfico 19 é a direção da correlação. Para o período estudado as duas estações de tratamento apresentaram o mesmo comportamento. Os coeficientes obtidos negativos, esses resultados evidenciam que em meses chuvosos a concentração de flúor diminui.

De acordo com Lima et al. (2004) o controle da concentração de fluoreto em estações de tratamento é um processo complexo, essa variabilidade pode ser atribuída a problemas com equipamentos, variações do fluxo de água. Santos et al. (2016) aborda que essa dificuldade é ainda maior em períodos de chuva. Além disso, outro fator que dificulta o controle é a

temperatura, segundo a Fundação Nacional de Saúde (2012), a concentração de fluoreto na água deve ser ajustada mediante a temperatura média da região. Esses fatores ajudam a explicar a variabilidade dos resultados obtidos.

Para compreender a instabilidade dos resultados apresentados no Gráfico 18 e nas Tabelas 10 e 11, foram elaborados os Gráficos 20 e 21. Esses gráficos, por meio da distribuição dos dados, auxiliam na visualização das variações na concentração de fluoreto ao longo do tempo, permitindo uma análise mais detalhada das oscilações observadas entre os períodos chuvosos e secos.

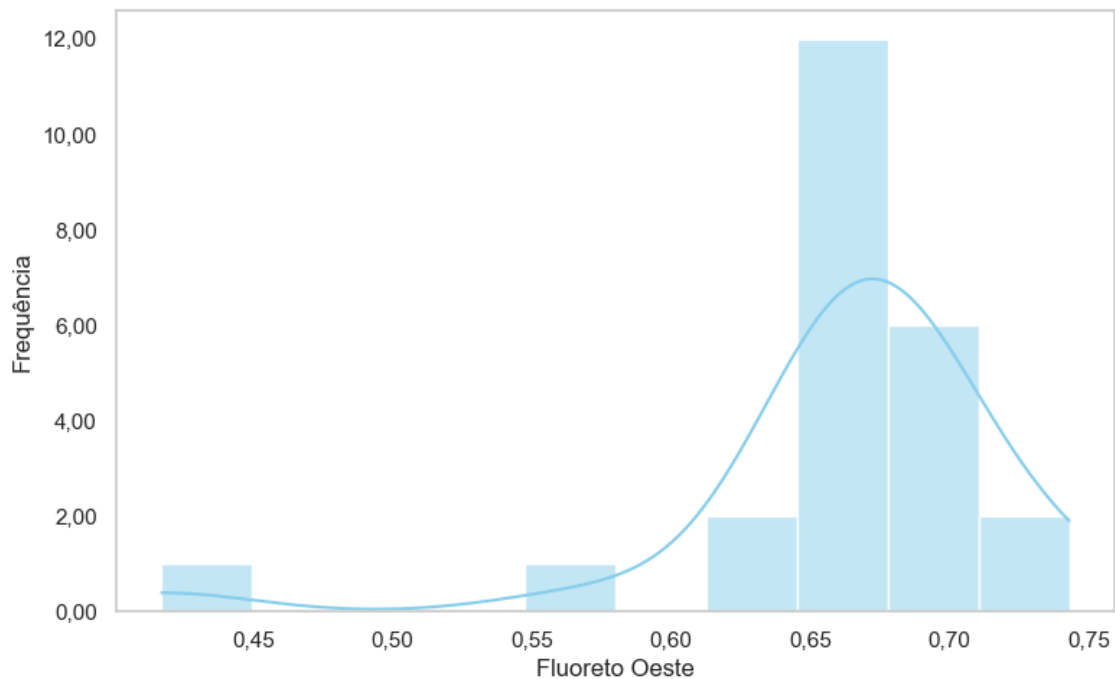
Gráfico 20 - Distribuição dos resultados de concentração de fluoreto para ETA Gavião no período de 2023 a 2024



Fonte: Elaborado pelo autor

A distribuição dos dados, apresentada no gráfico 20, ilustra a tendência apresentada na tabela 10. A distribuição é normal, evidenciando que, independentemente do período de seca ou chuvoso, os valores de concentração se mantiveram próximos de suas respectivas médias, ou seja, no período de chuva, os dados se concentram próximos da média de 0,6634 mg/L e nos meses de seca, se concentram próximos da média de 0,7346. Outro aspecto que confirma a informação, é o pequeno desvio padrão para os resultados da ETA Gavião, o que confirma a baixa variabilidade e a consistência dos dados em relação à média de cada período. Esses dados confirmam a eficiência operacional da ETA Gavião para o parâmetro fluoreto, pois mesmo em períodos de chuvas consegue manter as variações de concentração em níveis baixos.

Gráfico 21 - Distribuição dos resultados de concentração de fluoreto para ETA Oeste no período de 2023 a 2024



Fonte: Elaborado pelo autor

Analisando o gráfico 21, observa-se que diferentemente da ETA Gavião, a ETA Oeste apresenta uma distribuição de dados não normal. Esses resultados evidenciam uma maior dispersão dos resultados, ou seja, independente do período seco ou chuvoso, os resultados apresentaram uma instabilidade. Esse aspecto de instabilidade é reforçado pelo alto desvio padrão registrado na tabela 10, o que corrobora para a alta variabilidade dos dados em relação à média de cada período. Os resultados indicam uma eficiência operacional baixa para o parâmetro fluoreto na ETA Oeste, uma vez que mesmo operando com vazões mais baixas, não conseguiu manter os níveis de concentração dentro de limites mais estáveis.

Para comprovar os resultados e verificar se as correlações são estatisticamente significativas, foi aplicado o teste de correlação de Spearman, os resultados estão descritos na tabela 12.

Tabela 12 - Parâmetros estatísticos para ETA Gavião e Oeste para os anos de 2023 e 2024

Variável	Teste estatístico Spearman	Valor p
Fluoreto Gavião x precipitação	0,49	0,031
Fluoreto Oeste x precipitação	0,5	0,0139

Fonte: Elaborado pelo autor

Os resultados obtidos de p de significância foram menores do que 5% sendo 0,031 para ETA Gavião e 0,0139 para ETA Oeste. Esses resultados indicam que a correlação entre fluoreto e precipitação para o período e para as duas ETAs estudadas são estatisticamente significativas.

6.0 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos ao longo da análise permitiram identificar a influência dos períodos sazonais e dos métodos de tratamento nos parâmetros físico-químicos da água. O pH, por exemplo, apresentou comportamentos distintos nas duas ETAs analisadas. Em 2023, observou-se um leve decréscimo nos meses chuvosos redução média de 2% e um aumento nos meses secos já no ano de 2024 a tendência é mais clara, nos meses de chuvas há um grande decréscimo no pH das águas, enquanto nos meses subsequentes os valores de pH voltam a subir. Os testes estatísticos confirmaram a correlação significativa entre pH e precipitação, com valores de $p < 0,05$.

Para a turbidez, os dados da ETA Gavião demonstraram aumento expressivo durante o período chuvoso, um crescimento de até 12% em relação aos meses de chuvas. Já na ETA Oeste, a turbidez manteve-se próxima à média ao longo de todo o período, indicando baixa sensibilidade às variações climáticas. Essa diferença foi atribuída ao sistema de filtração dupla presente na ETA Oeste, que se mostrou mais eficiente no controle da turbidez. Em relação ao fluoreto a ETA Gavião, apresentou um padrão onde a média nos meses chuvosos foi de 0,6634 mg/L e, nos meses secos, de 0,7346 mg/L, correspondendo a um acréscimo de cerca de 10,7%.

Os desvios padrão foram próximos 0,0508 para o período chuvoso e 0,0539 para o seco, demonstrando variações similares ao longo do ano. Na ETA Oeste, a concentração média de fluoreto nos meses chuvosos foi de 0,6146 mg/L, enquanto nos meses secos foi de 0,6857 mg/L um aumento de aproximadamente 11,6%. O desvio padrão nos meses chuvosos 0,0804 foi maior que nos secos 0,0251, indicando maior variabilidade durante o período de chuvas. Isso sugere um controle mais difícil do fluoreto na ETA Oeste, possivelmente causado por problemas operacionais.

Assim como no caso do pH, os testes estatísticos apontaram significância na correlação entre precipitação e teor de fluoreto $p < 0,05$.

Diante dessas conclusões, recomenda-se para a ETA Gavião a adoção de sistemas de tratamento mais robustos, capazes de controlar com maior eficácia o nível de turbidez em períodos de chuva. A filtração dupla, utilizada na ETA Oeste, mostrou-se eficiente na estabilização da turbidez, sendo uma alternativa viável para um melhor controle dos níveis de

turbidez. Além disso, a ampliação de estudos para entender a dinâmica entre chuva e precipitação seriam uma importante medida preventiva. A partir da utilização de dados históricos seria possível criar modelos preditivos para antecipar desvios nos parâmetros e otimizar o processo de tratamento de água, dessa maneira reduzindo custos operacionais.

Por fim, recomenda-se a implantação de sensores em tempo real para controle de dosagem de fluoreto, uma vez que esse é um parâmetro de difícil controle, sujeito a variações constantes, especialmente em função da precipitação e da temperatura da água

Para trabalhos futuros, recomenda-se a adição de parâmetros de cor, dureza, indicadores biológicos, além da ampliação do período analisado e aplicação de modelos preditivos baseado em condições climáticas, tipo de tratamento e volume dos reservatórios estudados.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Anderson; AMARIS, Marcos; MERLIN, Bruno; VERAS, Adonney. *Modelagem e predição temporal de parâmetros de qualidade de água usando redes neurais profundas*. In: WORKSHOP DE COMPUTAÇÃO APLICADA À GESTÃO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS (WCAMA), 11., 2020, Evento Online. Anais [...]. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2020. p. 121–130. DOI: <https://doi.org/10.5753/wcama.2020.11026>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 12216:1992 – Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público: procedimento**. Rio de Janeiro, 1992.

BAIRD, R. et al. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 23. ed. Washington, Dc: American Public Health Association, 2017.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. *Caracterização do Semi-Árido brasileiro: subsídios ao planejamento da atuação governamental*. Salvador: Ministério da Integração Nacional, 2005. 184 p. (Texto para Discussão, n. 76).

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021**. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n. 84, p. 112, 5 maio 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 518, de 25 de março de 2004**. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 26 mar. 2004.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Saúde Ambiental, do Trabalhador e Vigilância das Emergências em Saúde Pública. *Curso básico de vigilância da qualidade da água para consumo humano: módulo I – marcos conceituais, institucionais e legais* [recurso eletrônico]. Brasília: Ministério da Saúde, 2020. 35 p. ISBN 978-85-334-2788-4. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/curso_basico_vigilancia_qualidade_agua_modulo_I.pdf. Acesso em: [14 abr.2025].

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Saúde Ambiental, do Trabalhador e Vigilância das Emergências em Saúde Pública. *Curso básico de vigilância da qualidade da água para consumo humano: módulo III – marcos conceituais, institucionais e legais* [recurso eletrônico]. Brasília: Ministério da Saúde, 2020. 35 p. ISBN 978-85-334-2788-4. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/curso_basico_vigilancia_qualidade_agua_modulo_III_aula_3.pdf. Acesso em: [14 abr.2025].

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Saúde

Ambiental, do Trabalhador e Vigilância das Emergências em Saúde Pública. *Curso básico de vigilância da qualidade da água para consumo humano: módulo II – marcos conceituais, institucionais e legais* [recurso eletrônico]. Brasília: Ministério da Saúde, 2020. 35 p. ISBN 978-85-334-2788-4. Disponível em:

https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/curso_basico_vigilancia_qualidade_agua_modulo_II_aula_2.pdf. Acesso em: [14 abr.2025].

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Saúde Ambiental, do Trabalhador e Vigilância das Emergências em Saúde Pública. *Curso básico de vigilância da qualidade da água para consumo humano: módulo IV – marcos conceituais, institucionais e legais* [recurso eletrônico]. Brasília: Ministério da Saúde, 2020. 35 p. ISBN 978-85-334-2788-4. Disponível em:

https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/curso_basico_vigilancia_qualidade_agua_modulo_IV.pdf. Acesso em: [14 abr.2025].

BERNARDO, Angela S. Di. *Desempenho de sistemas de dupla filtração no tratamento de água com turbidez elevada*. 2004. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

CAGECE - Companhia de Água e Esgoto do Ceará. **Projeto Básico do Tanque de Armazenamento das Águas de Lavagem dos Filtros da ETA Gavião**. Pacatuba - CE: DEN - Diretoria de Engenharia, GPROJ - Gerência de Projetos de Engenharia, maio 2018.

CARVALHO JÚNIOR, Valdenor Nilo de. Deposição atmosférica e composição química da água de chuva. *Revista Tecnologia*, Fortaleza, v. 25, n. 2, p. 61–71, dez. 2004.

COGERH – Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará. *Inventário Ambiental do Açude Gavião – PSH-RT7-05*. Fortaleza, 2017. Disponível em:

https://portal.cogerh.com.br/wp-content/uploads/2018/01/IVA-Gavi%C3%A3o_PSH.pdf.

Acesso em: 14 abr. 2025.

COGERH – Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. *Semana da Água: conheça as 7 principais ações do Governo para garantir a segurança hídrica no Ceará*. Fortaleza:

COGERH, 2024. Disponível em: <https://portal.cogerh.com.br/semana-da-agua-conheca-as-7-principais-acoes-do-governo-para-garantir-a-seguranca-hidrica-no-ceara/>. Acesso em: 10 abr. 2025.

COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTO DO CEARÁ – CAGECE. *ETA Oeste comemora 10 anos de operação e registra outros marcos de evolução*. Fortaleza: Cagece, [2023].

Disponível em: <https://www.cagece.com.br/comunicacao/noticias/eta-oeste-comemora-10-anos-de-operacao-e-registra-outros-marcos-de-evolucao/>. Acesso em: 19 abr. 2025.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). *Resolução nº 357, de 17 de março de 2005*. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 18 mar. 2005. Seção 1, p. 58–63.

CRISTINA. **El Niño e La Niña: veja as diferenças e suas implicações**. Disponível em:

<https://ambscience.com/el-nino-e-la-nina-diferencas-e-suas-implicacoes/>.

CUNHA, Gilberto Rocca da; SANTI, Anderson; DALMAGO, Genei Antonio; PIRES, João Leonardo Fernandes; PASINATO, Aldemir. Dinâmica do pH da água das chuvas em Passo Fundo, RS. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 44, n. 4, p. 339–346, abr. 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/gWVNzQMKqBtYmLTCzM9Zmqf/>. Acesso em: 22 mai. 2025.

CUSTÓDIO, G. **Chuvas no Ceará ficaram até 54% abaixo da média em anos com El Niño similar ao de 2024; entenda**. Disponível em: <https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/ceara/chuvas-no-ceara-ficaram-ate-54-abaixo-da-media-em-anos-com-el-nino-similar-ao-de-2024-entenda-1.3469018>. Acesso em: 21 abr. 2025.

FUNASA – Fundação Nacional de Saúde. *Manual prático de análise de água*. 4. ed. Brasília, 2013.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA). *Manual de fluoretação da água para consumo humano*. Brasília: Ministério da Saúde, 2011.

FRAZÃO, Paulo; PERES, Marco A.; CURY, Jaime A. *Qualidade da água para consumo humano e concentração de fluoreto*. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 45, n. 5, p. 964–973, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rsp/a/NxbXBb8VzmXbYB9H5P83TWM/>. Acesso em: [30 jul.2025].

GOOGLE. *Google Maps: Cagece – ETA Gavião*. Disponível em: <https://www.google.com/maps/place/Cagece+-+ETA+Gavi%C3%A3o/@-3.9036413,-38.5609931,1106m>. Acesso em: 18 abr. 2025.

GOOGLE. *Google Maps: ETA Oeste*. Disponível em: <https://www.google.com/maps/place/ETA+OESTE/@-3.7875285,-38.6555976,553m>. Acesso em: 18 abr. 2025.

HELLER, Léo; PÁDUA, Valter Lúcio *Abastecimento de água para consumo humano*. 2. ed. rev. e atual. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010. v. 1.

LACERDA, F. F.; SILVA JÚNIOR, H. da S.; ASSAD, E. D.; ASSIS, J. M. O. de; MOURA, M. S. B. de. **Extremos e variabilidade climática no Nordeste brasileiro e em Pernambuco**. In: GALVÍNIO, J. D. (Org.). *Mudanças climáticas e impactos ambientais*. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2010. p. 1–23.

LONGHURST, James W. S. (Ed.). *Acid deposition: origins, impacts and abatement strategies*. Dordrecht: Springer Science+Business Media, 1991.

MAIA, Hélio José Santos. Água e civilizações: história ambiental, desafios contemporâneos e perspectivas diplomáticas. *Revista Brasileira de História da Ciência*, v. 17, n. 2, p. 710–725, jul./dez. 2024. Disponível em: <https://rbhciencia.emnuvens.com.br/revista/article/view/985/745>. Acesso em: 30 jul. 2025.

MARENGO, José Antônio. Água e mudanças climáticas. *Estudos Avançados*, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 83–96, maio/ago. 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/fXZzdm68cnztt6Khr8zYx3L/>. Acesso em: 30 jul. 2025.

MEGDA, Cláudia Regina. *Filtro anaeróbio ascendente combinado com reator aeróbio de lodos ativados em batelada no tratamento de água residuária sintética de indústria de polpa celulósica não branqueada sob condições termofílicas*. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia – Área de Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

MINITAB. *A comparison of the Pearson and Spearman correlation methods*. Disponível em: <https://support.minitab.com/pt-br/minitab/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/supporting-topics/correlation-and-covariance/a-comparison-of-the-pearson-and-spearman-correlation-methods/>. Acesso em: 30 abr. 2025.

NASCIMENTO, J. E. F. do; NASCIMENTO FARIAS, C. M. do; TORRES PIRES, M. L.; ESCHRIQUE, S. A.; DA SILVEIRA, P. C. A. Variação sazonal de parâmetros físico-químicos na porção estuarina do município de Raposa – MA. *Saúde e Ambiente*, v. 8, n. 2, p. 257–271, 2020. DOI: 10.17564/2316-3798.2020v8n2p257-271.

OLIVEIRA, B. S. S. de; CUNHA, A. C. da. Correlação entre qualidade da água e variabilidade climática no município de São José dos Campos (SP). *Revista Ambiente & Água, Taubaté*, v. 9, n. 2, p. 265–276, abr./jun. 2014. DOI: [SEIP, H. M. Acid deposition and the acidification of soils and waters. Trends in Ecology & Evolution, v. 2, n. 9, p. 285–288, 1987.](#)

PENEDO, Pedro Henrique Silva; GARCIA, Giovanni de Oliveira; CECÍLIO, Roberto Avelino; ZANETTI, Sidney Sara; ROZA, Mariza Pereira de Oliveira. Relação entre precipitação e turbidez em cursos d'água no Espírito Santo. *Caminhos de Geografia*, Uberlândia, fev. 2023. DOI: [10.14393/RCG249161901](#).

PSICOMETRIA ONLINE. *Como testar a normalidade da amostra com Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk?*. Disponível em: <https://www.blog.psicometriaonline.com.br/como-testar-a-normalidade-da-amostra-com-kolmogorov-smirnov-e-shapiro-wilk/>. Acesso em: 29 abr. 2025.

PSICOMETRIA ONLINE. *Correlação de Spearman: o que é e como interpretar?*. Disponível em: <https://www.blog.psicometriaonline.com.br/o-que-e-correlacao-de-spearman/>. Acesso em: 29 abr. 2025.

PSICOMETRIA ONLINE. *Teste de Shapiro-Wilk: o que é, para que serve e como interpretar?*. Disponível em: <https://www.blog.psicometriaonline.com.br/o-que-e-o-teste-de-shapiro-wilk/>. Acesso em: 29 abr. 2025.

Portal do SNIRH: Agência Nacional de Águas. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/gestorpcd> . Acesso em: 21 abr. 2025.

Portal Hidrológico - CE. Disponível em: http://www.hidro.ce.gov.br/quantidade_nivel_diario . Acesso em: 05 abr. 2025.

Postos Pluviométricos. Disponível em: http://www.funceme.br/?page_id=2694 . RIBEIRO, Elisa de Castro Marques; SILVA, M^a Micheliana da Costa. *Um Retrato do Semi-Árido Cearense*. Texto para Discussão nº 76. Fortaleza: IPECE, 2010.

SANTOS, Luis Felipe Pupim dos; CHIBA, Fernando Yamamoto; MOIMAZ, Suzely Adas Saliba; SALIBA, Orlando. Estudo da concentração de flúor nas águas de abastecimento público relacionada às variações pluviométricas. *Revista de Odontologia Preventiva e Social da FOA-UNESP*, Araçatuba

SEIP, H. M. Acid deposition and the acidification of soils and waters. *Trends in Ecology & Evolution*, v. 2, n. 9, p. 285–288, 1987.

SISTE, Carlos Eduardo; GIRÃO, Enio Giuliano; DUNCAN, Bryan L. *Manual para formação e capacitação de grupos comunitários em metodologias participativas de monitoramento da qualidade da água – Módulo III: Avaliação físico-química*. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2011. 48 p. (Documentos, 135).

SUMMERS, Kevin (ed.). *Water Quality: Science, Assessments and Policy*. Londres: Royal Society of Chemistry, 2020.

TC/BR TECNOLOGIA E CONSULTORIA. *Plano Diretor de Esgotamento Sanitário da Região Metropolitana de Fortaleza*. Fortaleza, 2003.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 2005. (Série de Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 1).z