



**UNILAB**

**UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERNACIONAL DA LUSOFONIA AFRO-  
BRASILEIRA**

**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**

**MESTRADO ACADÊMICO EM ENERGIA E AMBIENTE**

**CRISTIANO DANTAS ARAÚJO**

**INFLUÊNCIA DA VARIABILIDADE DA QUALIDADE DA ÁGUA BRUTA NO  
CUSTO DE TRATAMENTO DE ÁGUA NO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DA  
REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA, CEARÁ**

**REDENÇÃO**

**2022**

**CRISTIANO DANTAS ARAÚJO**

**INFLUÊNCIA DA VARIABILIDADE DA QUALIDADE DA ÁGUA BRUTA NO  
CUSTO DE TRATAMENTO DE ÁGUA NO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DA  
REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA, CEARÁ**

Dissertação submetida como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de mestre em Energia e Ambiente, da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, UNILAB – Campus de Auroras. Área de concentração: Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Cunha Costa.

Co-orientador: Prof. Dr. Iran Eduardo Lima Neto

**REDENÇÃO**

**2022**

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira  
Sistema de Bibliotecas da UNILAB  
Catalogação de Publicação na Fonte.

---

Araújo, Cristiano Dantas.

A688i

Influência da variabilidade da qualidade da água bruta no custo de tratamento de água no Sistema de Abastecimento da Região Metropolitana de Fortaleza - Ceará / Cristiano Dantas Araújo. - Redenção, 2023.

86f: il.

Dissertação - Curso de Mestrado Acadêmico em Energia e Ambiente, Programa de Pós-graduação em Energia e Ambiente, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, 2023.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Cunha Costa.

Coorientador: Prof. Dr. Iran Eduardo Lima Neto.

1. Reservatórios. 2. Semiárido. 3. Água - Qualidade. 4. Custo - Tratamento da água. I. Título

CE/UF/BSP

CDD 333.91220981

---

**CRISTIANO DANTAS ARAÚJO**

**INFLUÊNCIA DA VARIABILIDADE DA QUALIDADE DA ÁGUA BRUTA NO  
CUSTO DE TRATAMENTO DE ÁGUA NO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DA  
REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA, CEARÁ**

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de mestre em Energia e Ambiente, na Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira – UNILAB – Campus Auroras.

**BANCA EXAMINADORA**

---

**Prof Dr Alexandre Cunha Costa (orientador)**

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira - UNILAB

---

**Prof. Dr. Iran Eduardo Lima Neto (Coorientador)**

Universidade Federal do Ceará - UFC

---

**Prof Dr George Leite Mamede**

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira - UNILAB

---

**Dr. Silvano Porto Pereira**

Companhia de Água e Esgoto do Ceará – CAGECE

A Deus, pela força e persistência durante a caminhada.

Aos meus pais, esposa, meus filhos e irmãos.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me concedido a vida e pela sua infinita bondade. Pela forte presença em todas as ocasiões, guiando-me e proporcionando-me momentos de felicidade e outros de dificuldades, que em suma só contribuíram para o fortalecimento do meu ser.

Aos meus filhos e a minha querida esposa Germana Torres pelo seu apoio incondicional e sua compreensão nos momentos de ausência para que eu pudesse chegar até aqui.

Ao meu orientador, professor Alexandre Cunha Costa, pela confiança e orientação para o desenvolvimento deste trabalho, principalmente nos momentos de dúvidas e dificuldades.

Ao meu coorientador, professor Iran Eduardo Lima Neto, pelos ensinamentos e disponibilidade na orientação deste trabalho.

Aos membros da banca, George Leite Mamede e Silvano Porto Pereira, pela contribuição e disponibilidade em participarem da conclusão deste trabalho. Um agradecimento especial ao Silvano, que mesmo de longe, tirou um pouco do seu tempo para suas valiosas contribuições.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Energia e Ambiente, pelo conhecimento amplamente transmitido ao longo desse período de mestrado.

À Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE), em especial a Gerência de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação, pela liberação para concluir o curso de mestrado e pelo fornecimento das informações.

À Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará (COGERH), pelo fornecimento dos dados e informações para esta pesquisa.

## RESUMO

A maioria dos reservatórios situados em regiões tropicais são eutróficos ou hipertróficos, sendo motivo de preocupação para a gestão desses ambientes. A variabilidade da qualidade da água é influenciada pela hidrodinâmica dos reservatórios e se faz importante conhecer essa variação para uma perfeita gestão do corpo hídrico. Os custos relativos ao tratamento de água vêm aumentando consideravelmente devido à degradação dos mananciais. O presente trabalho visa identificar a influência da variabilidade da qualidade da água bruta no custo de tratamento de água no sistema de abastecimento da cidade de Fortaleza. Para isso, foram solicitados dados sobre o sistema que abastece a Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), para a caracterização dos recursos hídricos disponíveis, frente a sua variabilidade interanual e sazonal da qualidade da água bruta, a aos seus custos do tratamento da água, identificando-se ainda os possíveis poluentes ao longo do trajeto destas águas até a estação de tratamento. Foi calculada tendência, efeito sazonal e resíduo dos dados de qualidade da água, teste de Mann Kendall nas tendências das séries, regressão linear múltipla usando, como variável preditora, a turbidez e a cor, além do cálculo da concentração de fósforo na saída do açude Castanhão e que chega no açude Gavião. Não foi identificada tendência nas séries de fósforo, nitrogênio e clorofila a e tendência negativa na série de cianobactérias. A concentração de fósforo que chega no Gavião é maior do que a liberada pelo Castanhão, sugerindo haver algum ponto de adição deste nutriente posterior ao açude Castanhão. Já na regressão linear, com a turbidez sendo a preditora, o fósforo e as cianobactérias, são capazes de explicar 51% da turbidez. Quando a Cor foi a variável preditora, as variáveis fósforo e cianobactérias, são capazes de explicar 89% da cor. Na regressão linear dos custos, a turbidez e cor, são capazes de explicar em 99% a variação do custo e as cianobactérias e o fósforo, são capazes de explicar o custo em 77%. Podemos concluir que a variabilidade da qualidade da água que chega na ETA Gavião é influenciada pela mudança do reservatório doador. A precipitação na bacia do açude Gavião, causa um aumento na turbidez na chegada da água a ETA Gavião. Cianobactérias e fósforo são os responsáveis pela turbidez e cor no açude Gavião. Os custos de produção na ETA Gavião são diretamente influenciados pela turbidez, cor, cianobactérias e fósforo.

**Palavras-chave:** Reservatórios. Semiárido. Turbidez. Qualidade da Água. Custo do Tratamento de Água.

## ABSTRACT

Most reservoirs located in tropical regions are eutrophic or hypertrophic, being a matter of concern for the management of these environments. The variability of water quality is influenced by the hydrodynamics of the reservoirs and it is important to know this variation for a perfect management of the water body. The costs related to water treatment have been increasing considerably due to the degradation of water sources. The present work aims to identify the influence of the variability of raw water quality on the cost of water treatment in the supply system of the city of Fortaleza. For this, data on the system that supplies the Metropolitan Region of Fortaleza (RMF) was requested, for the characterization of the available water resources, the interannual and seasonal variability of the raw water quality, evaluating the costs of water treatment and identifying the possible pollutants on the way from the water to the treatment plant. Trend, seasonal effect and residual of water quality data were calculated, Mann Kendall test on series trends, multiple linear regression using turbidity and color as predictor variable, in addition to calculating the phosphorus concentration that leaves the reservoir Castanhão and that arrives at the Gavião reservoir. No trend was identified in the series of phosphorus, nitrogen and chlorophyll A and a negative trend in the series of cyanobacteria. The concentration of phosphorus that arrives at Gavião is higher than that released by Castanhão, suggesting some point of addition of this nutrient in the Gavião basin itself. In linear regression, with turbidity being the predictor, phosphorus and cyanobacteria are able to explain 51% of the turbidity. When color was the predictor variable, phosphorus and cyanobacterial variables are able to explain 89% of color. In the linear regression of costs, turbidity and color are able to explain the cost variation in 99% and cyanobacteria and phosphorus are able to explain the cost in 77%. We can conclude that the variability of the quality of the water that arrives at the ETA Gavião does not have a significant influence by the change of the donor reservoir. Precipitation in the Gavião Reservoir basin causes an increase in turbidity when water arrives at ETA Gavião. Cyanobacteria and phosphorus are responsible for the turbidity and color in the Gavião reservoir. Production costs at ETA Gavião are directly influenced by turbidity, color, cyanobacteria and phosphorus.

**Keywords:** Reservoirs. semiarid. Turbidity. Water quality. Cost of Water Treatment.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Delimitação do Semiárido Brasileiro	25
Figura 2 - Mapa de classificação climática do Ceará segundo o Índice de Aridez	28
Figura 3 - Sistema de abastecimento de água para a RMF	40
Figura 4 - Abastecimento para a RMF	40
Figura 5- Outorgas concedidas pela COGERH no percurso do Eixão das águas	41
Figura 6 - Porcentagem de outorgas concedidas à RMF quanto ao tipo de uso	41
Figura 7 - Ponto de coleta da COGERH para monitoramento ambiental	43

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Fósforo e Nitrogênio da água na bacia hidrográfica do açude Gavião em função dos reservatórios ou da bacia que abastece o mesmo.....	46
Gráfico 2 - Cianobactérias e Clorofila A da água na bacia hidrográfica do açude Gavião em função dos reservatórios ou da bacia que abastece o mesmo.....	47
Gráfico 3 - Efeito sazonal Clorofila A na bacia hidrográfica do açude Gavião.....	48
Gráfico 4 - Efeito sazonal fósforo na bacia hidrográfica do açude Gavião.....	48
Gráfico 5 - Efeito sazonal Nitrogênio na bacia hidrográfica do açude Gavião.....	49
Gráfico 6 - Efeito sazonal Cianobactérias na bacia hidrográfica do açude Gavião .....	49
Gráfico 7 - Tendência e resíduo do fósforo da água na bacia hidrográfica do açude Gavião em função dos reservatórios ou da bacia que abastece o mesmo.....	50
Gráfico 8 - Tendência e resíduo do Nitrogênio da água na bacia hidrográfica do açude Gavião em função dos reservatórios ou da bacia que abastece o mesmo.....	51
Gráfico 9 - Tendência e Resíduo da Clorofila A da água na bacia hidrográfica do açude Gavião em função dos reservatórios ou da bacia que abastece o mesmo.....	52
Gráfico 10 - Tendência e Resíduo das cianobactérias da água na bacia hidrográfica do açude Gavião em função dos reservatórios ou da bacia que abastece o mesmo.....	53
Gráfico 11 - Qualidade da água que chega aduzida na ETA Gavião .....	56
Gráfico 12 - Efeito sazonal da turbidez da aduzida na ETA Gavião.....	57
Gráfico 13 - Sazonalidade da Cor da água aduzida na ETA Gavião.....	57
Gráfico 14 - Tendência e Resíduo da turbidez da água aduzida na ETA Gavião .....	58
Gráfico 15 - Tendência e Resíduo da Cor da água aduzida na ETA Gavião .....	59
Gráfico 16 - Autocorrelação para a regressão linear da turbidez .....	61
Gráfico 17 - Autocorrelação parcial para a regressão linear da turbidez .....	62
Gráfico 18 - Autocorrelação para a regressão linear da cor .....	62
Gráfico 19 - Autocorrelação parcial para a regressão linear da cor .....	63
Gráfico 20 – Evolução Histórica da vazão afluyente do Açude Gavião e da vazão liberada pelo Açude Castanhão .....	64
Gráfico 21 - Aporte de fósforo no açude Gavião x Liberação de fósforo pelo açude Castanhão .....	64
Gráfico 22 – Tendência e Resíduo da pluviometria na bacia hidrográfica do açude Gavião...	65
Gráfico 23 – Efeito Sazonal da precipitação .....	66

Gráfico 24 – Efeito sazonal da precipitação e turbidez.....	66
Gráfico 25 – Dosagens de produtos químicos (g/m <sup>3</sup> ).....	68
Gráfico 26 – Efeito Sazonal da dosagem do Cloro .....	69
Gráfico 27 – Sazonalidade da dosagem do PAC-23.....	69
Gráfico 28 – Tendência e resíduo da dosagem do PAC-23.....	70
Gráfico 29 – Tendência e Resíduo da dosagem do Cloro .....	71
Gráfico 30 - Custo de produção de água (R\$/m <sup>3</sup> ) descontada pela inflação anual.....	72
Gráfico 31 - Tendência e Resíduo do Custo (R\$/m <sup>3</sup> ).....	73
Gráfico 32 - Efeito Sazonal Custo (R\$/m <sup>3</sup> ).....	73

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produção de resíduos conforme o tipo de manancial.....	32
Tabela 2 - Mann Kendall Test Fósforo.....	54
Tabela 3 - Mann Kendall Test Nitrogênio.....	54
Tabela 4 - Mann Kendall Test Clorofila A.....	54
Tabela 5 - Mann Kendal Test Cianobactérias .....	54
Tabela 6 - Mann Kendall Test - Turbidez .....	60
Tabela 7 - Mann Kendall Test Cor .....	60
Tabela 8 - Regressão linear múltipla da Turbidez como preditora.....	61
Tabela 9 - Regressão linear múltipla da cor como preditora.....	61
Tabela 10 – Teste de correlação entre as variáveis .....	68
Tabela 11 – Mann Kendall Test – Cloro .....	72
Tabela 12 – Mann Kendall Test – PAC – 23.....	72
Tabela 13 - Regressão linear em função da turbidez e cor.....	74
Tabela 14 - Regressão linear do custo em função das cianobactérias e fósforo.....	74

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ANA- Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

APP - Área de Preservação Permanente

CAGECE - Companhia de Água e Esgoto do Ceará

CNRH - Conselho Nacional de Recursos Hídricos

CIPP - Complexo Industrial do Pecém

CODEVASF - Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba

COGERH - Companhia de Gestão de Recursos Hídricos

COT - Carbono Orgânico Total

DNOCS - Departamento Nacional de Obras Contra as Secas

FUNCEME - Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos

ETA - Estação de Tratamento de Água

ETE - Estação de Tratamento de Esgoto

GM - Gabinete do Ministro

HAA – Ácido Haloacético

IA - Índice de Aridez

IET - Índice de Estado Trófico

IQA - Índice de Qualidade de Água

IPECE - Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará

MCIT - Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovações

MS - Ministério da Saúde

MDR - Ministério de Desenvolvimento Regional

N-NH<sub>3</sub>- Nitrogênio amoniacal

ONU - Organização das Nações Unidas

PAC – Policloreto de alumínio

PNRH - Política Nacional de Recursos Hídricos

PNQA - Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas

RMF - Região Metropolitana de Fortaleza

SINGREH - Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos

SUDENE - Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste

TDH - Tempo de Detenção Hidráulica

THM - Trihalometano

UN-MPA - Unidade de Negócio de Produção e Macrodistribuição de Água (UN-MPA)

USEPA - Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos

## ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	17
<b>1.1. Objetivos</b> .....	20
2. REVISÃO DE LITERATURA	21
<b>2.1. Política Nacional de Recursos Hídricos</b> .....	21
<b>2.2. Outorga de água</b> .....	22
<b>2.3. Semiárido</b> .....	24
<b>2.4. Custo do tratamento de água</b> .....	33
<b>2.5. Poluição pontual e difusa</b> .....	34
<b>2.6. Decomposição de séries temporais</b> .....	35
<b>2.7. Teste De Mann-Kendall</b> .....	36
<b>2.8. Regressão Linear Múltipla</b> .....	36
<b>2.9. Teste de Shapiro-Wilk</b> .....	37
<b>2.10. Função de autocorrelação e função de autocorrelação parcial</b> .....	38
3. MATERIAL E MÉTODOS	39
<b>3.1. Área de Estudo</b> .....	39
<b>3.2. Reservatórios que abastecem a RMF</b> .....	42
<b>3.3. Dados Utilizados</b> .....	43
<b>3.4. Análise Estatística dos Dados</b> .....	44
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
<b>4.1. Qualidade da água no açude Gavião e a sua origem</b> .....	45
<b>4.2. Qualidade da água afluenta a ETA Gavião</b> .....	55
<b>4.3. Regressão linear múltipla da qualidade da água</b> .....	60
<b>4.4. Aporte de fósforo</b> .....	63
<b>4.5. O efeito da precipitação na bacia hidrográfica do Açude Gavião</b> .....	65
<b>4.6. Custo de produção</b> .....	67

4.7. Regressão linear dos custos.....	74
5. REFERÊNCIAS	76

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil está numa posição privilegiada no globo quanto à disponibilidade hídrica, pois conta com mais de 12% de água disponível (RODRIGUEZ, 2016). Entretanto, não há uma distribuição uniforme desta disponibilidade entre as regiões. A região Nordeste possui 27,8 % da população e dispõe apenas de 3,3% dos recursos hídricos, enquanto a região Norte possui 8,3% da população e dispõe de 80% das águas nacionais (ANA, 2017; IBGE, 2010). O Brasil obteve um crescimento populacional de 12,33% entre os dois últimos censos realizados, passando de 169.799.170 em 2000 para 190.732.694 habitantes em 2010. Somente na região Nordeste houve um crescimento de 11,18% nesse mesmo período, passando de 47.741.711 para 53.078.137 habitantes. Não obstante esse aumento populacional, que ocasiona um aumento na demanda dos recursos hídricos, o consumo per capita de água também vem apresentando aumento. Conforme os dados da ONU (2018), o brasileiro consome, em média, 154 litros por dia. A Agência Nacional de Água e Saneamento Básico (ANA) (2017) revela que, nas últimas duas décadas, ocorreu um aumento de 80% na captação da água do meio ambiente e com preocupantes expectativas de um aumento de 30% até 2030.

Conforme Rabelo et al. (2021, 2022), a região Nordeste tem a maior concentração de reservatórios para abastecimento humano com, aproximadamente, 90% do total de reservatórios para esse uso. Somente no estado do Ceará são mais de 10.000 reservatórios com área acima de 0,5 ha (FUNCEME, 2017). Os reservatórios cearenses são a principal fonte de abastecimento da população, garantindo segurança hídrica, além de alavancar o desenvolvimento local (FUNCEME, 2002). Por conta do alto tempo de detenção hidráulica (TDH), da alta evaporação, da intensa insolação e da baixa pluviometria, esses ecossistemas têm predisposição à eutrofização (BOUVY et al., 1999; BRASIL, 2016). Com a redução de volume há um aumento nas concentrações de fósforo e Clorofila a e a diminuição da transparência (LIMA NETO et al., 2022)

Os indicadores de qualidade da água são ferramentas essenciais para o conhecimento da qualidade da água e para uma melhor gestão do recurso hídrico. De maneira geral, esses índices apresentam o comportamento da variabilidade físico-química e biológica dos corpos d'água, exprimindo resultados objetivos através de categorias tróficas (TYAGI et al., 2013). Nos reservatórios com alta concentração de nutrientes e eutrofizados, o crescimento da biomassa de organismos pode liberar toxinas prejudiciais aos homens e animais. Tal fenômeno compromete

o abastecimento de água, pois sistemas convencionais de tratamento não as removem (CARVALHO, et al., 2022).

Um importante indicador de qualidade ambiental e que afere estética de determinada água é a turbidez, que indica o grau de atenuação que um determinado feixe de luz sofre ao atravessar a água (ANA, 2021). Essa atenuação ocorre devido aos sólidos em suspensão absorverem parte da luz. A turbidez no rio é decorrente da erosão dos solos e do arraste de sólidos proveniente do escoamento superficial. De acordo com FUNASA (2014), mineração e lançamento de esgoto nos rios também são fontes importantes de turbidez.

Nos estudos apontados por Francisco, Pohlmann e Ferreira (2011), a influência da qualidade da água está diretamente relacionada com o custo de seu tratamento voltado para tornar essa água potável, visto que, apesar de a água estar presente a um ciclo hidrológico renovável, quando a água se encontra contaminada diretamente no seu manancial, os custos para esse tratamento se tornam ainda maiores. Entende-se que, para isto, faz-se necessário realizar a adequação do processo de tratamento da água bruta, de modo que a água produzida atenda aos padrões de potabilidade.

Por outro lado, entende-se que cerca de 30% da água potável encontra-se nos mananciais subterrâneos, sendo que uma parte dela está voltada para o consumo humano por causa da sua qualidade e por apresentar um baixo custo, devido a essa relevância, acaba sendo bastante utilizada na zona rural, por causa da ausência de uma rede pública de abastecimento (RIBEIRO; PEREIRA; FRANCO; MARQUES, 2019).

Conforme Mierzwa et al. (2008), dentre os processos de tratamento de água, principalmente para abastecimento humano, no qual a preocupação gira em torno da qualidade dessa água segundo critérios relacionados à saúde humana, a ultrafiltração é a mais indicada quando se tem contaminantes orgânicos, por causa do consumo de energia e por apontar eficiência no momento de remover esses poluentes, bem como matéria orgânica natural em função do peso molecular de corte (PMC).

No estudo realizado por Braga et al. (2018) foi feita uma comparação no qual evidenciou-se os custos com tratamento de água, em que algumas técnicas também influenciam diretamente na qualidade do tratamento da água, tais como: filtração lenta, filtração direta, dupla filtração e tratamento por ciclo completo. Assim, pode-se citar que as técnicas convencionais apenas podem obter um custo razoável e com um tratamento eficiente para água bruta se esta estiver dentro de certos limites de quantidade de matéria em suspensão e substâncias dissolvidas. Logo, se a água bruta apresentar altas concentrações de determinados parâmetros físico-químicos ou

bacteriológicos será necessário o emprego do tratamento em ciclo completo, bem como também pode ser necessário tratamentos complementares, ambos os casos acarretando um maior custo de produção.

Com base nisso, visando-se encontrar uma solução para essa problemática, busca-se, cada vez mais, tecnologias de tratamento de água que possam apresentar uma simplicidade operacional e que possuam baixos custos de implantação. Como por exemplo, em locais onde existe uma comunidade rural, nos quais se torna relevante que exista um sistema de filtração em múltiplas etapas, filtração lenta e uso de coagulantes naturais (ARANTES et al., 2015).

Nos sistemas de abastecimento de água o principal intuito é realizar a distribuição da água para os usuários, através de redes de distribuição de forma contínua e na pressão adequada para uso. Para isso existem as Estações de Tratamento de Água (ETAs) que atuam tratando a água bruta, garantindo a sua potabilidade para, depois, ser distribuída para a população. Entretanto, se a água captada for de qualidade comprometida, isto é, possuir concentração de determinados elementos a um nível considerado alto, as técnicas que serão aplicadas para tratar essa água elevam seus custos, por exigir meios tecnológicos sofisticados. Esse se tornou o principal motivo para originar ações que visem conservar os mananciais (GOMES, 2009).

No estudo realizado por Grott et al. (2016) foram evidenciados que a contaminação da água, como por protozoários patogênicos de transmissão fecal, pode trazer danos para a saúde humana. Uma análise realizada na água bruta nas estações de tratamento de Blumenau – SC, apresentou a presença desses protozoários, sendo que 67 amostras coletadas, todas apresentaram contaminação por *Escherichia coli* na água bruta na estação de tratamento, outros 11,76% evidenciaram que a turbidez da água tratada estava maior do que a recomendada.

Isso ocorre mais precisamente por causa da existência desses protozoários dentro dos reservatórios utilizados para tratamento e abastecimento de água, possivelmente oriundos de esgotamento doméstico, onde *Cryptosporidium* spp. e a *Giardia* spp. estariam presentes. O monitoramento desses protozoários se tornou obrigatório no Brasil, no qual as companhias de tratamento precisam, primeiramente, realizar monitoramento dos mananciais, de acordo com análise de concentração de *Escherichia coli* (identificando média geométrica anual sendo maior ou igual a 1.000 E. coli/100 mL precisa ser realizado monitoramento dos protozoários). Entretanto, os maiores problemas encontrados são: a falta de profissionais que possam ser capacitados para realizar esse monitoramento e o alto custo que é empregado para a detecção desses protozoários (KUMAR et al., 2016).

Uma vez que a qualidade de água advém da qualidade dos mananciais e do tipo de

tratamento, precisa-se compreender que as concessionárias são indústrias que possuem importante papel na conversão da água bruta em água potável e que, para tanto, precisam utilizar produtos químicos e um conjunto de processos, de modo que a qualidade de suas águas atenda à legislação vigente. O custo desses tratamentos se torna alto de acordo com a qualidade da água, visto que, quanto mais contaminada a água estiver, maior é a quantidade de produtos químicos e tecnologias para transformar essa água apta para o consumo, aumentando, consideravelmente, os custos com esse tratamento (AHMAD; AHMAD; ALAM, 2017).

O presente trabalho visa identificar a influência da variabilidade da qualidade da água bruta no custo de tratamento de água no sistema de abastecimento na cidade de Fortaleza, por meio da caracterização dos recursos hídricos disponíveis, da variabilidade interanual e sazonal de qualidade da água, dos custos do tratamento da água e, por fim, da identificação dos possíveis contaminantes no caminho da água até a estação de tratamento.

### **1.1. Objetivos**

O objetivo geral é avaliar a influência da variabilidade da qualidade da água bruta no custo do tratamento da água da Estação de Tratamento de Água (ETA) Gavião, Região Metropolitana de Fortaleza, Estado do Ceará. Os objetivos específicos são:

- Identificar possíveis poluentes no caminho das águas desses mananciais até a ETA Gavião.
- Caracterizar a variabilidade interanual e sazonal da qualidade da água bruta que chega à ETA Gavião.
- Avaliar os custos do tratamento da água bruta na ETA Gavião, de acordo com a variabilidade de sua qualidade.
- Propor medidas de redução do custo do tratamento de água.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Política Nacional de Recursos Hídricos

De acordo com Brasil (2022), a Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH) tem como fundamentos que a água é um bem de todos, um recurso natural limitado, possui valor econômico, o uso deve ser priorizado para o consumo humano e a dessedentação de animais, em situações de escassez hídrica, e sua gestão deve sempre proporcionar o uso múltiplo.

Instituída pela Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997, a qual ficou nacionalmente conhecida como Lei das Águas, a PNRH vem estabelecer instrumentos para a gestão dos recursos hídricos de domínio federal e criou também o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH). Tem um caráter descentralizador, pois cria um sistema nacional que integra União e estados, e participativo, com a instalação de comitês de bacias hidrográficas, que une poderes públicos nas três esferas, usuários e sociedade civil.

Por ter criado mecanismos para reconhecer os desentendimentos quanto ao uso da água, por meios dos planos de recursos hídricos de bacias hidrográficas e mediar tais conflitos na esfera administrativa, a PNRH é considerada uma lei progressista (MENDES et al., 2022).

O Relatório de situação dos Recursos Hídricos, é publicado pela ANA, a cada 4 anos, e realiza uma apuração da prática das ferramentas de gestão, da situação dos recursos hídricos e suas evoluções organizacionais, fazendo o acompanhamento do avanço da gestão dos recursos hídricos a nível nacional.

Conforme ANA (2022), o Programa Nacional de Qualidade das Águas (PNQA) foi criado por esse mesmo órgão, com a visão de expandir o conhecimento sobre a qualidade dos recursos hídricos superficiais do país, servindo como dispositivo norteador de políticas públicas para a restauração da qualidade de águas em rios e reservatórios, provendo, assim, uma gestão sustentável desses recursos. Todavia, nem todos os estados têm condições de realizar um monitoramento eficaz da qualidade de seus recursos hídricos, por conta dos custos com a logística, como também por falta de capacitação técnica para o serviço, resultando em períodos sem monitoramento. Conforme a ANA (2022) o Ceará faz parte de um grupo onde tem mais estrutura para realizar o monitoramento e disponibilização dos dados, juntamente com o DF, SP e MG.

## 2.2. Outorga de água

A lei n.º 9.984/2000, que criou a ANA, definiu como atribuição da Agência, a emissão de outorgas de direito de uso dos recursos hídricos que são de domínio da União. Já para os recursos hídricos de domínio estadual, cada estado é responsável por esse serviço (ANA, 2020; BRASIL, 2000). A outorga é definida por uma autorização pela qual o Poder Público outorgante faculta ao outorgado o direito ao uso da água, por prazo predeterminado, estabelecendo quantidade e tipo de uso expresso no ato outorgante, sendo a mesma essencial para evitar conflitos de uso futuros e atuais (RIBEIRO et al., 2014). Para Granziera (2006), a outorga “é o instrumento pelo qual o Poder Público atribui ao interessado, público ou privado, o direito de utilizar privativamente o recurso hídrico”.

Conforme Denny et al. (2020), em 1916, pelo Código Civil brasileiro a água era vista como domínio privado. Dessa forma, tinha como princípio básico o direito de vizinhança. Sendo assim, a propriedade das águas seria de domínio dos proprietários das terras em que elas estivessem inseridas, sendo elas subterrâneas ou superficiais.

Com a revolução industrial, surgiu a necessidade de maior produção de energia elétrica. Nessa época se via o potencial de utilização da água para a construção das grandes usinas hidrelétricas. Foi nessa conjuntura que o Código das Águas foi formulado, em 1934 (RAVENA, 2007). Além de vislumbrar o potencial hidráulico energético, o Código versava sobre a classificação da água e sua utilização, como também fixava as limitações administrativas de interesse público, mudando a visão que se tinha sobre a propriedade privada da água (CLAUBERG, 2021).

Assim, o decreto classificou as águas em três categorias básicas: públicas, comuns e particulares. No domínio particular se inserem as nascentes e todas as águas localizadas em propriedades que sejam de cunho particular. Deste modo, nesse período, era possível adquirir um terreno e ser o proprietário de todos os recursos hídricos nele existentes, usufruindo de todos os benefícios de proprietário, diferentemente do que ocorre atualmente (FARIAS, & SANTOS, 2018).

Nos artigos 32 e 33 do Código de Águas, é previsto caso de desapropriação das águas em função da necessidade ou utilidade pública (NUNES, 2022). Tal desapropriação visava garantir e aferir qualidade e a salubridade dos corpos d'água com o objetivo de proteção à saúde humana, ou ainda utilizá-los como fontes de geração de energia (NUNES, 2020; DE SOUZA & PERTEL, 2020). Conforme Granziera (1993) o decreto tinha como objetivo o progresso

industrial:

O Código de Águas dispõe sobre sua classificação e utilização, dando bastante ênfase ao aproveitamento do potencial hidráulico que, na década de 30, representava uma condicionante do progresso industrial que o Brasil buscava. Contudo, a evolução da legislação ambiental no Brasil veio a demonstrar a necessidade de revisão do Código de Águas. (GRANZIERA 1993 p.48)

De acordo ainda com a mesma autora, a Constituição de 1934 classificou como de competência da União, em seu artigo 5º, as riquezas das águas, e, já em seu artigo 20, estabelece como propriedade da União, as águas, lagos e quaisquer outras águas situadas em suas propriedades.

Tomando por base Silva (1998), houve uma nova alteração, algumas décadas depois, com relação à propriedade dos recursos hídricos. A Constituição de 1988 suprime as águas particulares ou comuns que anteriormente estavam no Código de Águas, de propriedade dos Estados e da União. O Art. 225 da constituição classifica o meio ambiente ecologicamente equilibrado, sendo incluído nele a água, como bem de todos, provocando debate sobre a sua natureza jurídica. O autor diz que:

A Constituição, no art. 225, declara que todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado. Veja-se que o objeto do direito de todos não é o meio ambiente em si, não é qualquer meio ambiente. O que é objeto do direito é o meio ambiente qualificado. O direito que todos temos é a qualidade satisfatória, o equilíbrio ecológico do meio ambiente. Essa qualidade é que se converteu num bem jurídico. A isso é que a Constituição define como bem de uso do povo (...) pode-se dizer que tudo isso significa que esses atributos do meio ambiente não podem ser de apropriação privada, mesmo quando seus elementos constitutivos pertençam a particulares. Significa que o proprietário, seja pessoa pública ou particular, não pode dispor da qualidade do meio ambiente a seu bel-prazer, porque ela não integra a sua disponibilidade. Veremos, no entanto, que há elementos físicos do meio-ambiente que também não são suscetíveis de apropriação privada, como o ar, a água, que são, já por si, bens de uso comum do povo. Por isso, como a qualidade ambiental, não são bens públicos nem particulares. São bens de interesse público, dotados de um regime jurídico especial, enquanto essenciais à sadia qualidade de vida e vinculados, assim, a um fim de interesse coletivo. (p.56)

Desta feita, a gestão seria realizada pelo Poder Público, responsável pela proteção e prestação de contas de patrimônio junto à sociedade (NUNES, 2020). Já Silva (1998) relata que:

(...) não mais subsiste o direito de propriedade relativamente aos recursos hídricos. Os antigos proprietários de poços, lagos ou qualquer outro corpo de água devem se adequar ao novo regramento constitucional e legislativo passando à condição de meros detentores dos direitos de uso dos recursos hídricos, assim mesmo, desde que obtenham a necessária outorga prevista na lei citada. (SILVA, 1998, p.83)

Destarte é alterada a ideia de que a água seja um bem ilimitado e passa a ser caracterizado como finito, sendo incluído como fundamento da PNRH. Quando forem elaboradas as políticas públicas esse fundamento não deve ser esquecido, conforme enfatiza Freire (2009):

De todas as fontes de armazenamento e disponibilidade de água em nosso planeta, os oceanos contabilizam o equivalente a 97,3% do total na biosfera. Mas esta água, devido à alta salinidade, torna-se imprópria ao consumo humano. Se formos às calotas polares e glaciais atingiríamos cerca de 2,06% somente de água, contra 0,67% de água subterrânea e 0,01% presente em rios e lagos. O restante, possivelmente 0,08%, estaria em trânsito, sendo considerada uma pequena quantidade diante do total, mas suprindo, decisivamente, as necessidades para a sobrevivência dos organismos vivos e mantendo a produtividade, inclusive dissolvendo a maioria dos nutrientes necessários a este fim primordial da alimentação humana. (FREIRE, 2009, p.30-31)

Não obstante a isso, a lei evidencia o custo financeiro que deve ser atribuído à água, não equivalente a premissa do pagamento a usá-la sem parcimônia. O custo financeiro atribuído à água tem como objetivo estimular o uso consciente, levando em consideração os custos inerentes ao processo de tratamento e distribuição (BRITO, AGUIAR 2019).

É ditame quanto às maiores demandas de água sejam da indústria e da agricultura, todavia tais atividades não podem ser beneficiadas em detrimento às demais atividades (MARQUES et al., 2022). Cabe ao Estado, em situações de escassez hídrica, garantir água suficiente para o abastecimento humano e a dessedentação de animais, tendo em vista que são usos considerados prioritários, conforme o professor Machado (2004):

No consumo humano estará compreendido somente o uso para as necessidades mínimas de cada pessoa, isto é, água para beber, para comer e para a higiene. Não está incluído o uso para o lazer, como piscinas, e nem para a jardinagem. Os animais têm assegurada a sua dessedentação, mas não há prioridade para utilização de água para o abate e o processo de comercialização destes animais. (MACHADO, 2004, p.428)

Sendo assim, em situações de escassez hídrica os órgãos públicos deverão paralisar as outorgas de uso de recursos hídricos que foram concedidas às atividades que não sejam o uso para o abastecimento humano e dessedentação animal.

### **2.3. Semiárido**

Conforme o Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCIT), o semiárido brasileiro é constituído pelos nove estados do Nordeste e ainda norte de Minas Gerais, ocupando mais de 12% de todo o território nacional, abrigando cerca de 28 milhões de habitantes, sendo 62% nas zonas urbanas e 38% em zonas rurais. Tal região é bem diversificada em todos os seus aspectos

sociais, culturais, ambientais e econômicos, sendo bemdefinida pelas suas condições climáticas dominantes de semiaridez, em especial a sua pluviometria, altas temperaturas e vegetação

Figura 1 - Delimitação do Semiárido Brasileiro



Fonte: SUDENE 2017

O semiárido brasileiro se caracteriza por uma má distribuição das chuvas e frequentes períodos de estiagem. A pluviometria da região é heterogênea e instável, na área sul-sudoeste as chuvas ocorrem entre outubro e fevereiro, enquanto na parte localizada mais ao norte, maior porção do semiárido, as chuvas ocorrem entre fevereiro e maio (MARENGO, 2010).

Uma outra característica marcante dessa região é possuir rios intermitentes, ou seja, secam durante o período sem chuvas, com exceção dos São Francisco e Parnaíba (GANDARA, 2015). Isso deve-se aos solos rasos, abundantes rochas cristalinas e elevado índice de evaporação que contribuem para uma baixa capacidade de absorção de água, favorecendo, assim, a pouca recarga dos aquíferos da região (ALVALÁ et al, 2019)

No semiárido é comum as precipitações anuais não ultrapassarem os 800 mm e as secas recorrentes. Não obstante os problemas naturais, todo o bioma Caatinga sofre com ações antrópicas (MORAIS, 2019). Essa região sofre, ainda, com os impactos da pobreza e da fome, sendo que esses são mais visíveis com as secas prolongadas e afetam toda a população. Conforme Marengo, Torres e Alves (2017), as secas remontam desde o período da colonização portuguesa no início do século XVI. Algumas delas foram bem severas como a seca de 1777 a 1780, em que metade da população e cerca de 85% dos seus rebanhos padeceu devido à fome, a seca de 1877 a 1879 que dizimou aproximadamente 200.000 pessoas em Fortaleza e a seca de 1958 que ocasionou a migração de mais de 10 milhões de pessoas em busca de melhores condições em outras regiões. Os períodos de seca atrelados à falta de políticas públicas que promovam uma adaptação às adversidades encontradas na região, causam inúmeros e imensuráveis danos sociais e econômicos (SANTOS et al, 2014).

Na região já foram realizados vários estudos sobre os impactos negativos da falta de chuva e as várias formas para reduzir os seus efeitos (TRAVASSOS, SOUZA e SILVA, 2013). Conforme esses autores, a severidade dos efeitos que são causados pelas estiagens prolongadas vem promovendo, por um outro lado, a criação de formas de mitigação que visam o desenvolvimento sustentável para a região, tais como utilização de cisternas para aproveitamento e reservação da água das chuvas, construção de barragens e reservatórios, perímetros irrigados, como também a adoção de técnicas mais eficientes na irrigação e na agricultura, para evitar o desperdício.

Podemos citar como exemplo histórico disso, a seca de 1877 que foi o estopim para a construção do primeiro reservatório de água na região, o açude do Cedro, em Quixadá, no Ceará (MARENGO, 2010). Logo após esse, outros reservatórios foram construídos e as inúmeras mortes registradas em eventos anteriores foram sendo evitadas. Todavia as secas continuam a afetar os habitantes da região, ocasionando prejuízos econômicos e sociais.

### 2.3.1. Semiárido cearense

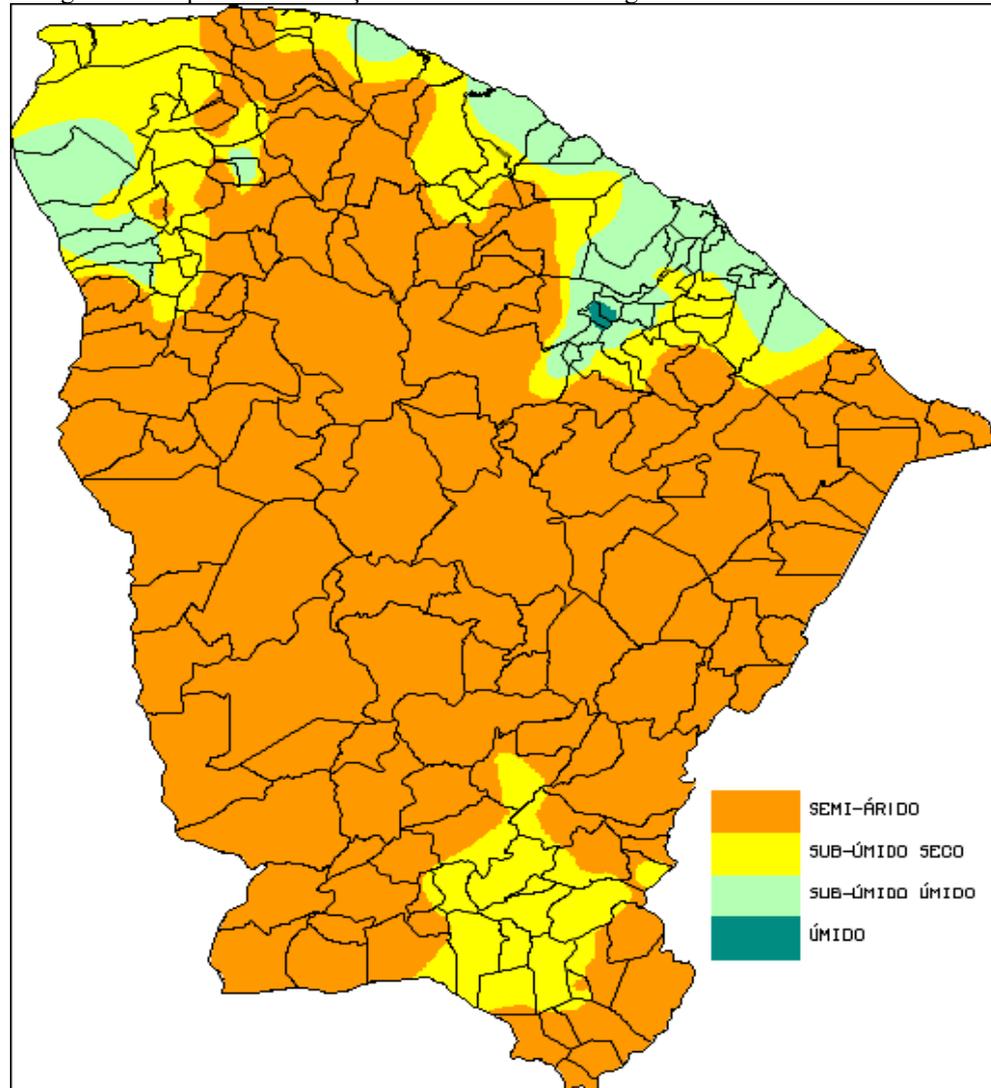
O estado do Ceará tem aproximadamente 150.000 km<sup>2</sup> (IPECE 2016), fica situado na região Nordeste, tendo como confrontantes os seguintes estados: Oeste, Piauí, Leste, Rio Grande do Norte e Paraíba, Sul, Pernambuco e Norte, o oceano Atlântico. Possui 184 municípios e 20 microrregiões administrativas, sendo as mais representativas a Região Metropolitana de Fortaleza (RMF) com 19 municípios e a Região Metropolitana do Cariri (RMC) com 9 municípios.

O clima que predomina no estado é o Tropical Quente Semiárido, englobando 98 dos 184 municípios do estado. Esse tipo de clima tem como característica principal a irregularidade pluviométrica associada a altas taxas evaporativas, sendo muito comum o surgimento de períodos de secas. Outra característica do estado são os rios serem intermitentes e efêmeros e eutrofizados, por conta de ações antrópicas nos grandes centros urbanos.

O clima cearense do semiárido é caracterizado por temperaturas regulares com grande insolação, temperatura média acima de 26°C e altas taxas evaporativas. A formação do ecossistema é altamente influenciada pelo clima, que vão de alterações no solo, presenças de solos rasos e afloramentos rochosos, como também adaptações nas vegetações existentes, plantas predominantemente caducifólias, espinhosos e suculentas (BARROS et al, 2015).

A figura 2 representa o mapa de classificação climática para o estado, conforme o Índice de Aridez (IA), para os mais diversos postos pluviométricos do estado. As médias de precipitação foram calculadas pela pluviometria entre os anos de 1974 e 2016 para as estações monitoradas pela FUNCEME, com, no mínimo, 20 anos de armazenamento de dados.

Figura 2 - Mapa de classificação climática do Ceará segundo o Índice de Aridez



Fonte: FUNCEME (2020).

### 2.3.2. Qualidade da água no semiárido

Conforme Ammar et al. (2017), devido ao aumento populacional no semiárido, ocorre uma demanda maior de água e, para atender essa demanda, a construção de reservatórios para armazenamento são importantes instrumentos estratégicos para a mitigação dos impactos causados, com as altas temperaturas e chuvas escassas.

Esses corpos hídricos lânticos ainda podem proporcionar o estabelecimento de formas de manejo sustentável de ecossistemas, como peixamento para pesca esportiva e atividades de recreação. Para tal, é muito importante que a qualidade da água seja adequada para que possa

atender os padrões estabelecidos para as diferentes formas de uso. Todavia a maioria dos reservatórios situados em regiões tropicais são eutróficos ou hipertróficos, sendo motivo de preocupação para a gestão desses ambientes (LIMA et al., 2018; LACERDA et al., 2018; LIRA et al., 2020; RAULINO et al., 2021; ROCHA E LIMA NETO, 2021; WIEGAND et al., 2021).

Esses ambientes aquáticos são extremamente propícios à degradação da qualidade de suas águas, não somente pelas condições climáticas, mas também por fatores antrópicos (LACERDA et al., 2018). De acordo com Rocha e Lima Neto (2021) e Wiegand et al (2016), o elevado tempo de detenção hidráulica (TDH) dos reservatórios intensifica os processos químicos, biológicos e físicos que proporcionam desequilíbrios consideráveis nos ambientes lacustres. Ainda segundo os mesmos autores, existe uma grande dificuldade no controle das ações antrópicas que causam a degradação da qualidade da água, como despejos de efluentes domésticos e descarte incorreto de resíduos sólidos. Tal degradação é um desafio em áreas com uma maior escassez hídrica (SHARIFINIA, 2017; SALES et al., 2008)

Diante de tais dificuldades enfrentadas principalmente no semiárido brasileiro, faz-se necessário e urgente um monitoramento contínuo e sistemático que disponibilize as informações sobre a qualidade da água e suas variações no corpo hídrico. Deste modo, conforme relata Andrietti et al. (2016), a utilização de alguns índices são importantes instrumentos para avaliar a qualidade dos recursos hídricos, principalmente o Índice de Qualidade de Água (IQA) e o Índice de Estado Trófico (IET).

Segundo Medeiros et al. (2015), ações antrópicas são mais relevantes em áreas com uma maior densidade demográfica, urbanização e mineração, que impulsionam uma degradação maior na qualidade dos recursos hídricos das bacias hidrográficas, por meio do lançamento de efluentes domésticos e industriais e assoreamento dos corpos hídricos devido à retirada das matas ciliares, como também o uso de químicos em atividades de mineração.

O aumento da flora aquática por conta da eutrofização dos mananciais produz também uma série de microrganismos que são tóxicos, como as cianotoxinas (ANTONIOUN et al., 2010). Essas florações são um crescimento excessivo de microalgas e cianobactérias, que se apresentam no meio aquático como espessas e densas camadas subsuperficiais no espelho d'água, impedindo, assim, a penetração da luz solar para as outras camadas da água, favorecendo a decomposição da matéria através de processos anaeróbio e a depleção do oxigênio dissolvido (WEIRICH et al., 2014).

De acordo com Coetzee et al (2011), as cianobactérias do gênero *Microcystis*, *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Planktothrix*, *Cylindrospermopsis* e *Nodularia* são as mais presentes e que

têm uma maior capacidade de produzir toxinas, além de causar danos no ambiente aquático para os outros microrganismos presentes.

A variabilidade da qualidade da água é influenciada pela hidrodinâmica dos reservatórios e se faz importante conhecer essa variação para uma perfeita gestão do corpo hídrico (SONG et al, 2018). Diversos estudos já foram realizados para uma melhor compreensão dessa variabilidade e seus impactos (PACHECO et al, 2016; CALMON et al, 2016). Dentre as diversas variáveis que podem alterar a qualidade da água nos reservatórios, podemos citar o TDH, visto que ele está diretamente relacionado com a retenção de fósforo e nitrogênio no corpo hídrico, contribuindo para um aumento da flora aquática e que indica um maior risco a eutrofização do manancial (JONES e ELLIOTT, 2007; KOIV et al., 2011; WIEGAND et al., 2016).

Em longos períodos de escassez hídrica, o TDH aumenta, sendo evidente as mudanças em alguns parâmetros da água como, transparência e profundidade da zona eufótica, bem como na eutrofização (BOUVY et al, 1999). Em um contexto geral, as características físicas de um reservatório afetam diretamente na qualidade de suas águas, sendo mais notório em reservatórios com uma menor profundidade, ocasionando um crescimento exponencial de cianobactérias (COVENEY et al., 2005; JONES e ELLIOTT, 2007; DANTAS et al., 2011; KOIV et al., 2011; LONDE et al., 2016). Para evitar esse crescimento exponencial, conforme Rocha e Lima Neto (2022) tem que diminuir em 80% a clorofila *a*. De acordo com Varol e Şen (2012), a carga excessiva de nutrientes causam inúmeros problemas, que vão desde a floração de organismos fitoplanctônicos, redução do oxigênio na água, alterações no paladar e odor, mortandade da fauna e flora aquática.

Para Jouravlev (2004), em bacias com alta densidade demográfica, os poluentes lançados em corpo receptor de uma cidade são muitas vezes localizados bem próximos a montante das captações de água das outras cidades. Assim, não há tempo suficiente para a decomposição e a dispersão de poluentes. Essa situação é agravada quando há pouca água no corpo receptor, principalmente no período do ano sem chuvas e nos anos de seca hidrológica. Esse é provavelmente um dos principais motivos de aumento dos custos para tornar a água desses mananciais potável para consumo humano, bem como causador de impactos para os demais usos.

Segundo Dantas et al. (2017), muitos mananciais no semiárido brasileiro tiveram a qualidade da água reduzida, sendo fatores para essa redução da qualidade, a escassez hídrica e o lançamento de efluentes domésticos e industriais, apresentando altas concentrações de nitrogênio amoniacal (N-NH<sub>3</sub>), carbono orgânico total (COT), metais pesados e de organismos

patogênicos. Ainda conforme Dantas et al. (2017), em águas onde houver a presença de alta turbidez e cianobactérias, faz-se necessário um tratamento complementar, antes das etapas de coagulação e floculação. Em casos com elevadas concentrações de patógenos, pode ainda ser realizada uma desinfecção com algum oxidante, para que este possa destruir ou inativar esses microrganismos existentes, além de melhorar a eficiência do tratamento nas etapas posteriores.

No entanto, ainda conforme Dantas et al. (2017), apesar dos benefícios que são trazidos por essa pré-coloração no tratamento complementar, a aplicação deve ser realizada através de um rígido controle operacional, por conta da possível geração de subprodutos que causam efeitos danosos à saúde humana, como citotoxicidade, danos ao material genético, como também o risco carcinogênico. Os principais subprodutos gerados com a cloração são Trihalometano (THM), Ácido Haloacético (HAA), halocetonas e haloacetoneitrilos e ocorrem pela presença de matéria orgânica na água, em especial, as substâncias húmicas e fúlvicas (MAO et al. 2016).

Os mananciais superficiais são as principais fontes de abastecimento de água bruta para as Estações de Tratamento de Água (ETAs). Por isso é importante que sejam preservados e que as leis que são estabelecidas para o melhor uso da ocupação do solo sejam salvaguardadas. Com base nisso, cerca de 60% dos municípios brasileiros possuem leis municipais voltadas para a preservação e recuperação de mananciais com o principal intuito de manter a preservação dos mesmos, justamente para também manter a qualidade da água destes. Essa preocupação está fundamentada na premissa de que as águas dos mananciais são fáceis de serem contaminadas, tanto por via natural quanto por ações antrópicas (efluentes industriais, pesticidas, etc). Entretanto, mesmo que as águas dos mananciais não sejam totalmente puras, visto que não existe água totalmente pura, como afirma Capanema (2004), quando acontece a redução da qualidade da água dos mananciais aumenta a quantidade de produtos químicos que serão usados no tratamento, conseqüentemente aumenta a quantidade de resíduos gerados e o aumento de perda de água no meio desse processo (ACHON et al., 2011).

No estudo realizado por Andreoli e Leite (2005) no qual foram analisadas 38 ETAs do Paraná, foram realizadas entrevistas que evidenciaram o quanto é importante a conservação dos mananciais para o uso das águas brutas nas estações. Por outro lado, uma outra realidade foi evidenciada, que apenas 11 dos 38 sistemas que foram analisados tinham projetos de conservação de manancial. A pesquisa trouxe ainda a evidência de que, mesmo que as empresas tenham conhecimento da importância da conservação dos mananciais e de reconhecerem a importância de existir programas de conservação, não há investimento disponível para a

administração desses projetos ou advindo de políticas públicas como incentivo para esses programas (OLIVEIRA, 2016).

Assim, compreende-se que a geração de resíduos que ocorre em uma ETA está proporcionalmente relacionada com a qualidade da água bruta. Com base nisso, pode-se observar, conforme a Tabela 1, a relação dos valores em gramas de lodo seco que é gerado conforme o tipo de manancial, no estudo realizado por Reali (1999):

Tabela 1 - Produção de resíduos conforme o tipo de manancial

Tipo de Manancial	Faixa de Produção de Resíduos (g de sólidos secos por m <sup>3</sup> de água tratada)
Água de reservatório com boa qualidade	12 – 18
Água de reservatório com média qualidade	18 – 30
Água de rios com qualidade média	24 - 36
Água de reservatório com qualidade ruim	30 - 42
Água de rios com qualidade ruim	42 – 54

Fonte: Reali, 1999.

De acordo com Reali (1999), a maioria das cidades brasileiras possui poluição nos seus recursos hídricos e, por isso, a qualidade da água nas cidades acaba se tornando um problema para as indústrias de tratamento de água, por causa dos custos que envolvem todo o tratamento e da maior geração de lodo, que também carrega em si custos associados ao seu tratamento, transporte e disposição.

Além disso, as águas brutas que passam pelo tratamento acabam sofrendo interferência advinda da sazonalidade como, por exemplo, em época de chuva, a cor e turbidez da água elevam seus índices fazendo com que sejam aplicadas maiores doses de coagulantes e o oposto ocorre em períodos de seca (AWWA, 1987), influenciando inclusive o percentual de água usualmente perdido com o lodo produzido na ETA (entre 0,3 e 1%).

Di Bernardo et al., (2003) afirmam que “qualquer água de qualquer qualidade pode ser transformada em água potável”, no entanto o que vai tornar mais dificultosa a recuperação dessa água é o seu alto custo, por causa dos processos químicos que exigirão maior quantidade de produtos químicos, maiores consumos de energia elétrica e maiores perdas de água no processo de produção. Se torna relevante, também, um estudo mais aprofundado sobre as operações necessárias bem como todas as manutenções que serão necessárias, para poder obter o

conhecimento da viabilidade do uso daquele manancial para fornecimento de água à estação de tratamento.

Destarte, as águas brutas que são usadas para as estações em fase de projeto passam por uma análise em laboratório em um período aproximado de um ano, para que possa ser quantificada ou estimada a quantidade de lodo formada no processo, a fim conhecer seu comportamento em função das variações da água de alimentação, principalmente levando em conta as sazonalidades, que envolvem período de maiores quantidades de chuva ou estiagem. Assim, os valores que são obtidos através da análise pontuais não trazem consigo um valor universal e não podem ser aplicados em variadas situações por causa das particularidades que envolvem essas fórmulas e por estarem diretamente dependentes de constantes e coeficientes (KATAYAMA, 2014).

Por isso, quando a água bruta é captada se torna extremamente importante que sejam analisados todos os seus aspectos, sejam eles físicos ou químicos, bem como microbiológicos, visto que essa captação, por ser realizada de forma superficial, pode estar propensa a diversas contaminações. Com base nisso, pode-se observar que a maior parte do lodo de ETA que é gerado no país ainda é disposta em cursos d'água, como discrimina o estudo realizado por Agostini et al. (2014). Além disso, o Brasil possui atualmente cerca de 7500 ETAs, sendo que 70% desse total praticam essa disposição.

Pode-se observar que quanto maior a quantidade populacional maior será a necessidade de água potável nas cidades e metrópoles. Conseqüentemente, maior será a vazão de água para que possa suprir toda a necessidade dessa demanda. Contudo, se a água bruta estiver contaminada ou deteriorada, será maior a quantidade de coagulantes, que, no caso, propicia uma maior produção de lodo dentro das ETAs, para que, somente assim, a água consiga estar dentro dos padrões estabelecidos pelos órgãos de regulação (ANDRADE et al., 2014).

#### **2.4. Custo do tratamento de água**

É definida como água bruta aquela em sua forma natural, podendo ser potável ou não (OLIVEIRA et. al 2014). Para que a água não potável se torne própria para o consumo humano, essa deve passar por um processo de tratamento, que envolve algumas etapas e/ou adição de produtos químicos. A quantidade de produtos químicos varia de acordo com as características da água bruta, sendo um fator importante conhecer a qualidade desta água a ser tratada, de

forma a selecionar a tecnologia ideal para o seu tratamento e adequação ao consumo humano. Quanto pior a qualidade da água bruta, maior será a quantidade de produtos químicos utilizados para que essa água se torne potável, sendo também gerada uma maior quantidade de rejeitos, como o lodo, devendo este ser disposto de forma adequada (KATAYAMA et. al., 2015)

De modo geral, dos custos envolvidos no tratamento de água, 26% são relacionados ao uso de produtos químicos, perdendo apenas para as despesas de operação, materiais e serviços (SILVA, LUCAS e TEIXEIRA, 2012). Os custos relativos ao tratamento de água vêm aumentando consideravelmente devido à degradação dos mananciais. Conforme dados disponibilizados pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE) (2021), o consumo de produtos químicos teve uma elevação de 16% em um período de 10 anos. Estudos anteriores, como os de Forster et al. (1987), Holmes, (1988), Dearmont et al. (1998) e Murray e Forster (2001), fazem uma relação entre custo de produção da água tratada e o nível de turbidez da água bruta, que é uma medida da concentração de sedimentos suspensos na água. Altos níveis de turbidez podem implicar em um aumento de custos para o tratamento da água. Sendo assim, esse estudo vem estabelecer uma relação entre a qualidade de água bruta e o aumento de custos inerentes ao tratamento.

## **2.5. Poluição pontual e difusa**

A qualidade das águas nas bacias hidrográficas está diretamente relacionada com o uso e a ocupação do solo em suas diversas formas de utilização (BRITES e GASTALDINI, 2007; ZAFANNI, 2021). Conforme Silva & Porto (2015), simplificada, são duas possíveis fontes de poluição: pontual e difusa. A pontual é aquela que tem a localização conhecida, sendo possível a sua identificação e controle, como por exemplo o lançamento de esgoto doméstico, proveniente de uma estação de tratamento de esgoto em um corpo hídrico. Já a poluição difusa não tem uma localização conhecida, sendo difícil controle e podendo ter várias origens: lançamento irregular de esgoto doméstico nos rios e córregos, infiltração de agrotóxicos no solo e o escoamento de chorume do lixo em aterros.

A poluição difusa na bacia hidrográfica ocorre por meio do processo de acúmulo, também chamado de *build-up*, e que, quando ocorre alguma precipitação na bacia, são carregadas aos corpos hídricos através do processo de lixiviação (BARCO, CIAPONI e PAPIRI, 2003). Assim, a poluição difusa pode ser a responsável por uma maior contribuição de nutrientes em corpos hídricos nos períodos chuvosos, sofrendo ainda uma amplificação pela intensidade da

precipitação, por conta do carreamento de sedimentos para o leito desses corpos hídricos (ROCHA e LIMA NETO, 2021, 2022).

A velocidade de escoamento é responsável pela intensidade da poluição difusa, quanto maior a velocidade de escoamento, maior será o arraste de poluentes para os corpos hídricos. No ambiente urbano, os poluentes carregados estão diretamente relacionados à intensidade das chuvas, ao tipo de lixo jogado, ao tipo de pavimento e à proporção do fluxo de veículos. Estudos voltados para essa matéria, identificaram que cidades com mais áreas verdes têm um melhor controle do escoamento superficial, pois esses espaços sedimentam a carga de poluentes que antes chegariam aos cursos de água (PORTO, 2005).

Os gestores municipais devem pensar na água como parte de todo um processo para que se possa ter uma gestão sustentável da drenagem urbana. O escoamento superficial das grandes cidades influencia na qualidade dos corpos hídricos localizados a jusante destas. Cidades localizadas a jusante de grandes metrópoles e que possuem corpos hídricos superficiais passando por essas cidades, têm suas águas comprometidas, estando normalmente impróprias para o consumo humano e dessedentação de animais (TUCCI, 2005).

## **2.6. Decomposição de séries temporais**

Conforme Ehlers (2007) uma série temporal é um conjunto de dados coletados ao longo do tempo. Ou seja, são dados amostrais coletados em um período sobre observações de determinada variável (COWPERTWAIT; METCALFE 2009).

Como exemplo de séries temporais, podemos citar as séries ordenadas cronologicamente, como: vendas médias de determinado produto, Produto Interno Bruto (PIB), valores de exportações, temperatura, a taxa de inflação, entre outros (MARTIN et al., 2016). Para Morettin e Tolo (2006) as séries temporais podem ser decompostas em tendência, sazonalidade e resíduo, sendo:

- a) Tendência: o comportamento da série ao longo prazo, responsável pela mudança gradual do modo como ela se manifesta por meio de movimentos continuados, que podem ser positivos, negativos e nulos.
- b) Sazonalidade: alterações de comportamentos repetitivos em um determinado período, no qual essas oscilações - subidas e quedas - se repetem em épocas específicas do ano.
- c) Resíduo: flutuações aleatórias de curto período, que não são explicadas nem pela sazonalidade nem pela tendência.



$$y_i = \beta_0 + \beta_{1x1i} + \beta_{2x2i} + \dots + \beta_{kxki} + \varepsilon_i$$

Equação 2

A avaliação de um ajuste de regressão linear múltipla é feita através do cálculo do coeficiente de correlação (R), do coeficiente de correlação ajustado (R ajustado) e da análise de resíduos que mostrará a significância do modelo e avaliar as contribuições das variáveis preditoras. A avaliação do ajuste do modelo é realizada através da análise da variância da regressão (GAUDIO; ZADONADE, 2001).

A equação matemática produzida após a regressão linear é utilizada na predição de resultados da variável dependente a partir da variação das variáveis independentes (variáveis preditoras). O método dos mínimos quadrados ordinários é utilizado para estimar os parâmetros do modelo de regressão linear, assumindo que os erros da regressão são independentes e identicamente distribuídos, ou seja, não são correlacionados. Nesta pesquisa, a função de autocorrelação e a função de autocorrelação parcial serão calculadas para verificar se os erros das regressões ajustadas podem ser considerados independentes.

## 2.9. Teste de Shapiro-Wilk

Esse teste é utilizado para verificar a normalidade dos dados. Para isso, é realizada uma comparação do valor que foi encontrado de W, com o valor de Wn na tabela de Shapiro. Conforme Catelmo e Ferreira (2007), caso o valor de W seja menor que Wn, é rejeitada a hipótese de normalidade ao nível  $\alpha$  de significância. As outras hipóteses testadas são: H0: Têm distribuição normal; H1: Não têm distribuição normal. Onde, W é o valor da estatística; n é o tamanho da amostra aleatória.

$$S^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \underline{y})^2$$

Equação 3

Se n é par,  $n=2k$ , calcula-se:  $b = \sum_{i=1}^k a_{n-i+1}(y_{n-i+1} - y_i)$ . Se n é ímpar,  $n = 2k+1$ , Calcula-se:  $b = a_n(y_n - y_i) + \dots + a_{k+2} + (y_{k+2} - y_k)$ .

## 2.10. Função de autocorrelação e função de autocorrelação parcial

O coeficiente de correlação tem como objetivo determinar o grau de relação entre duas variáveis, é expresso entre +1 e -1. Quanto mais próximo dos extremos do intervalo de variação, mais correlacionadas estão as variáveis analisadas. O sinal do coeficiente indica a direção, se a correlação é positiva ou negativa (DEVORE, 2006).

O coeficiente de correlação linear de Pearson ( $r$ ) é uma medida estatística da relação linear entre as variáveis.

$$r_{xy} = \frac{cov(x, y)}{\sqrt{var_x, var_y}}$$

Equação 4

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

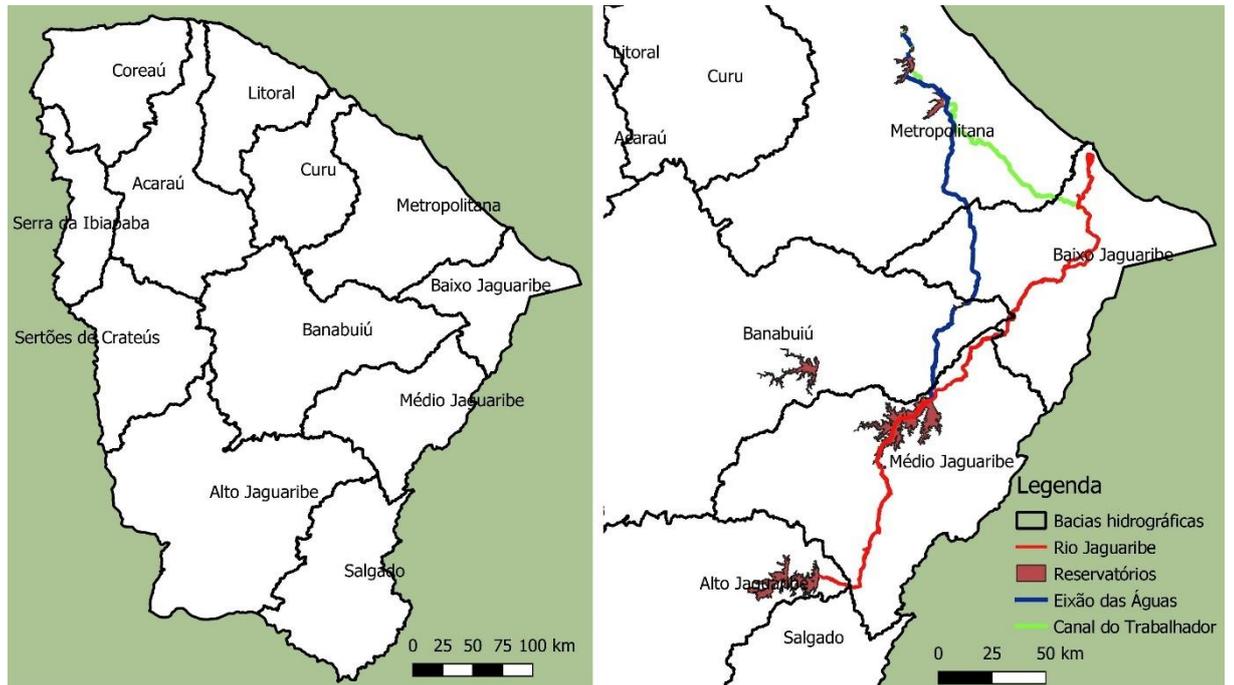
#### 3.1. Área de Estudo

A bacia hidrográfica do açude Gavião tem 97,12 km<sup>2</sup> e engloba os municípios de Guaiúba, Itaitinga e Pacatuba. O reservatório fica no município de Pacatuba que tem população de 72.299 habitantes, sendo 62.095 residentes na zona urbana e 10.204 residentes na zona rural, conforme dados de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. O clima predominante da região, conforme Koppen-Geiger, é o Aw', caracterizado como tropical chuvoso, quente e úmido, com estação chuvosa concentrada no outono. A precipitação anual varia entre 1.200 e 1.400mm, com chuvas bem irregulares, com anos com chuvas intensas e outros por secas severas.

Quanto ao uso e ocupação do solo dentro da bacia hidrográfica destacam-se as indústrias e postos de gasolina, conforme o inventário ambiental de 2017 realizado pela COGERH, sendo inclusive constatado atividades irregulares na Área de Preservação Permanente – APP. Quanto a outros possíveis impactos que podem ser causados por atividades antrópicas que foram relacionadas no mesmo inventário ambiental: Estações de Tratamento de Água (ETA), Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), cemitérios, ourivesarias, postos de combustíveis, lagoas de estabilização, esgotos, lixões/aterros sanitários, balneários, matadouros, indústrias, atividades de mineração, poços abandonados, resíduos domésticos, resíduos hospitalares, resíduos industriais, lavagem de carro, uso de agrotóxicos, uso de fertilizantes, pecuária extensiva, indústria alimentícia, indústria de couro e curtume, indústria têxtil, metalúrgicas, lavanderias, usina de álcool e tanques de armazenamentos.

A água que abastece a RMF é proveniente, predominantemente, de reservatórios que não estão localizados na bacia hidrográfica da RMF (Figura 3). A COGERH (Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Estado do Ceará) é a responsável pela gestão e o planejamento dos recursos hídricos no Ceará. Conforme a variação do volume armazenado em cada reservatório, a COGERH direciona suas águas à RMF. O açude Orós pode lançar suas águas na direção do Castanhão que, por sua vez, regulariza o Rio Jaguaribe à jusante. O açude Banabuiú pode lançar também suas águas no Rio Jaguaribe. Quando as águas do Rio Jaguaribe chegam em Itaiçaba, podem ser desviadas pelo canal do trabalhador até aos reservatórios interligados da RMF (Pacajus/Pacoti/Riachão/Gavião), que alimentam, por fim, a ETA Gavião, por gravidade, onde a água bruta é tratada para posterior distribuição à população.

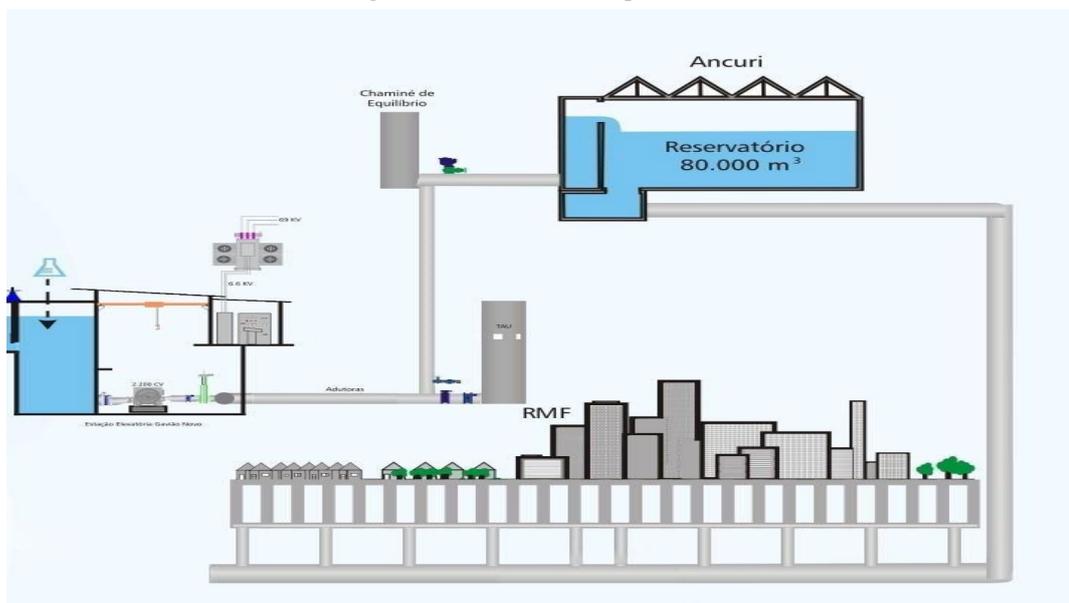
Figura 3 - Sistema de abastecimento de água para a RMF



Fonte: O autor

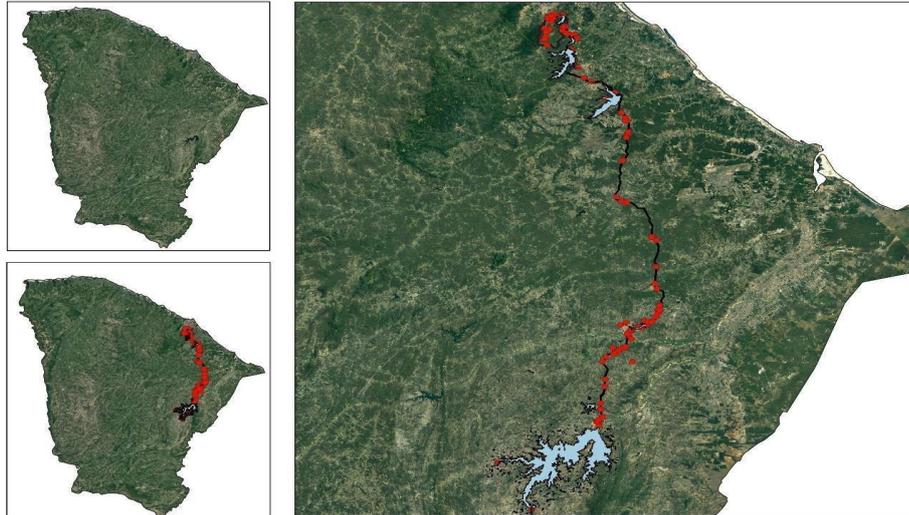
A água tratada da ETA é bombeada para o reservatório do Ancuri, situado a aproximadamente 5 km da ETA e a uma cota aproximada de 100 m de altitude. O Ancuri possui capacidade máxima de 80.000 m<sup>3</sup>, de onde a água é distribuída, por gravidade, para a RMF (Figura 4). O Ancuri fornece a água tratada, por meio das adutoras de macrodistribuição para reservatórios menores, que a distribuem através de adutoras de microdistribuição.

Figura 4 - Abastecimento para a RMF



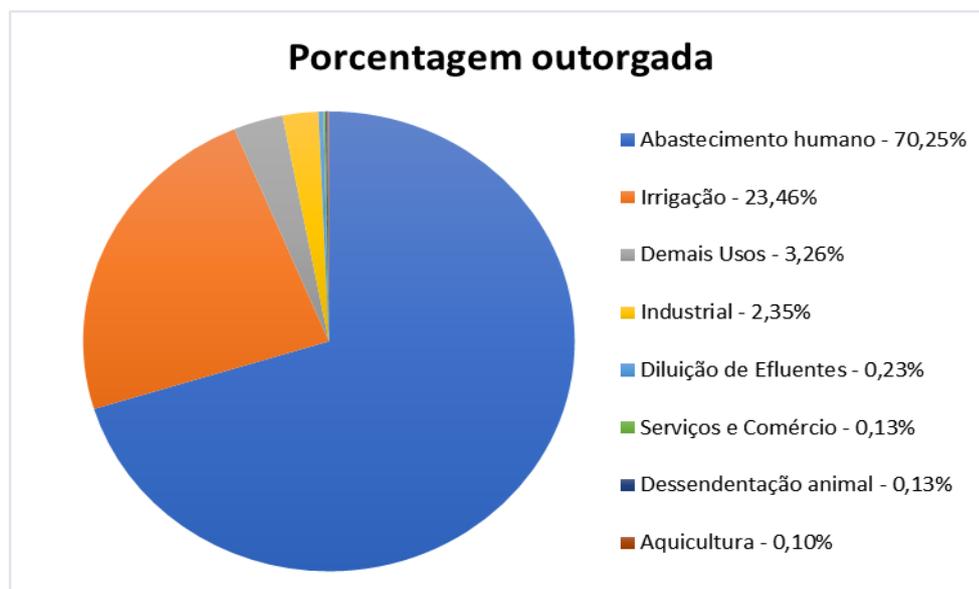
A COGERH disponibilizou os dados sobre as outorgas concedidas no sistema que abastece a RMF para que se pudesse conhecer as possíveis utilizações da água no caminho e suas possíveis influências na qualidade da água. Foram localizadas 143 outorgas vigentes com os mais diversos usos, na figura 5 abaixo são apresentados os pontos outorgados no sistema.

Figura 5- Outorgas concedidas pela COGERH no percurso do Eixão das águas



Fonte: COGERH 2022

Quanto ao volume outorgado, são 10,1 m<sup>3</sup>/s de água no sistema que abastece a RMF. Os usos prioritários são o consumo humano e a irrigação, entretanto a outorga para diluição de efluente também é autorizada. Abaixo, um gráfico com a vazão outorgada para cada uso:



Fonte: COGERH 2022

### **3.2. Reservatórios que abastecem a RMF**

O abastecimento de água da RMF é proveniente de reservatórios que na sua maioria estão localizados em outras bacias. Os reservatórios que abastecem a RMF são:

#### **3.2.1. Açude Pacoti**

O açude Pacoti, fica localizado nos municípios de Horizonte, Itaitinga, Pacajus, Guaiúba e Aquiraz, dista a aproximadamente 40 km de Fortaleza, foi construído em 1981, barrando o rio Pacoti, seu reservatório tem capacidade para 380 hm<sup>3</sup>. Sua bacia hidrográfica é de aproximadamente 1.080 km<sup>2</sup> e a bacia hidráulica de aproximadamente 37 km<sup>2</sup>. Faz parte do complexo de açudes Pacoti/Riachão. Os dois reservatórios são ligados por um canal e funcionam como um sistema único.

#### **3.2.2. Açude Riachão**

Localizado no município de Itaitinga, o açude Riachão possui bacia hidrográfica com aproximadamente 33,68 km<sup>2</sup> e, como principal contribuinte, o rio Riachão. Seu reservatório tem aproximadamente 46,95 hm<sup>3</sup>. A bacia hidráulica é de aproximadamente 56,5 km<sup>2</sup>.

#### **3.2.3. Açude Gavião**

O açude Gavião está localizado no município de Pacatuba, possui capacidade de armazenamento de 32,9 hm<sup>3</sup> e área da bacia hidráulica e hidrográfica de 7 e 97 km<sup>2</sup>, respectivamente. O açude Gavião tem origem a partir do barramento do Rio Cocó, localizado a montante da ETA, responsável pelo abastecimento de água potável da região metropolitana de Fortaleza, incluindo os municípios de Fortaleza, Caucaia, Maracanaú e Eusébio.

#### **3.2.4. Açude Castanhão**

O açude Padre Cícero ou açude Castanhão foi construído entre 1995 e 2003, com a finalidade de drenar as águas da bacia hidrográfica do Médio Jaguaribe e receber as águas da transposição do Rio São Francisco e tem capacidade para 6.700 hm<sup>3</sup>. Possuindo área da bacia hidrográfica e hidráulica de 44.800 e 325 km<sup>2</sup>, vindo sua barragem a ser construída no leito do principal do Rio Jaguaribe. É administrado pelo DNOCS e pela COGERH, e apontado como o maior açude semiárido do Brasil.

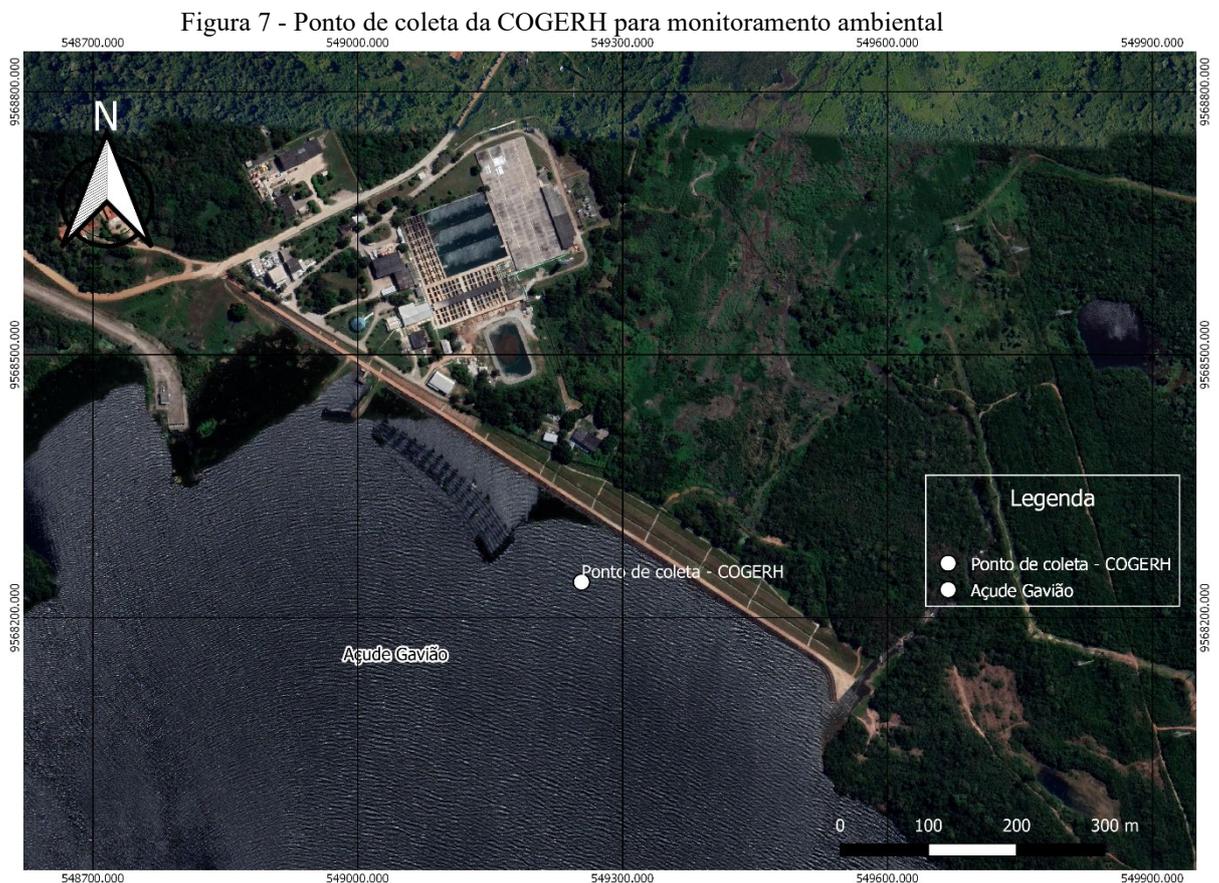
#### **3.2.5. Açude Banabuiú**

O açude Banabuiú está localizado em sua totalidade nos municípios de Banabuiú e

Quixeramobim, a 180 km de Fortaleza. Sua obra foi concluída em 1966 pelo DNOCS, e tem capacidade de armazenamento de 1.601 hm<sup>3</sup>, sua bacia hidrográfica tem aproximadamente 14.200 km<sup>2</sup> e a bacia hidráulica tem 102 km<sup>2</sup>.

### 3.3. Dados Utilizados

Primeiramente, com os dados disponibilizados pela COGERH e CAGECE foi possível conhecer toda a infraestrutura hidráulica, bem como a malha hídrica e o percurso da água que chega a ETA Gavião. Foi realizado um levantamento de dados junto à COGERH, sobre a qualidade e a alocação da água dos reservatórios. Quanto a qualidade da água a COGERH realiza um monitoramento contínuo nos reservatórios, o ponto de coleta para o monitoramento no açude Gavião é mostrado na figura 7 abaixo:



Fonte: O autor 2022

Em seguida, foi realizado um levantamento temporal dos dados de qualidade de água de cada reservatório que compõem o sistema, para a verificação na variação sazonal e interanual entre os anos de 2010 e 2021. Junto à CAGECE, foram conseguidos dados sobre os períodos

de abastecimento da ETA Gavião de acordo com o manancial (Castanhão, Banabuiú, Sistema Pacoti-Pacajus-Riachão-Gavião (PPRG) e Gavião) e dados de qualidade da água afluyente à ETA Gavião, como a turbidez. Dados inerentes aos custos para o tratamento ( $m^3/R\$$ ), que incluem: outorga, energia, produto químico, pessoal e manutenção, foram também disponibilizados no período de 2013 a 2020. ETEs dentro da bacia hidrográfica do Gavião também foram disponibilizados pela CAGECE.

### **3.4. Análise Estatística dos Dados**

Ferramentas estatísticas foram utilizadas para a análise dos dados. Primeiramente, para que os dados apresentassem uma distribuição normal, foi aplicada a função logarítmica para posterior análise da variabilidade, fazendo a decomposição das séries em Tendência, Efeito Sazonal e Resíduo de cada série temporal, utilizando o método clássico de decomposição de séries temporais (MORETTIN E TOLOI, 2006), utilizando o MS Excel. A partir do componente tendência da série, foi avaliado se a série possui tendência temporal de aumento, de diminuição ou ausência de tendência, aplicando o teste não paramétrico de Mann Kendall, disponibilizado no software XLSTAT na sua versão gratuita. Depois, foi realizada a Regressão Linear Múltipla entre os componentes de tendência da qualidade da água dos mananciais na RMF e na Bacia do Jaguaribe e da qualidade da água afluyente à ETA Gavião verificando a relação entre as variáveis.

A função de autocorrelação e autocorrelação parcial, utilizando o software gratuito de estatística e previsão WESSA ([http://wessa.net/rwasp\\_autocorrelation.wasp](http://wessa.net/rwasp_autocorrelation.wasp)), para verificar se os erros da regressão linear foram correlacionados ou não. Para a análise estatística, foi considerado um nível de significância de 5%.

Foi verificado ainda o custo de produção de água tratada na ETA Gavião retirando a inflação anual, o gasto com produtos químicos e feita a decomposição destas séries.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

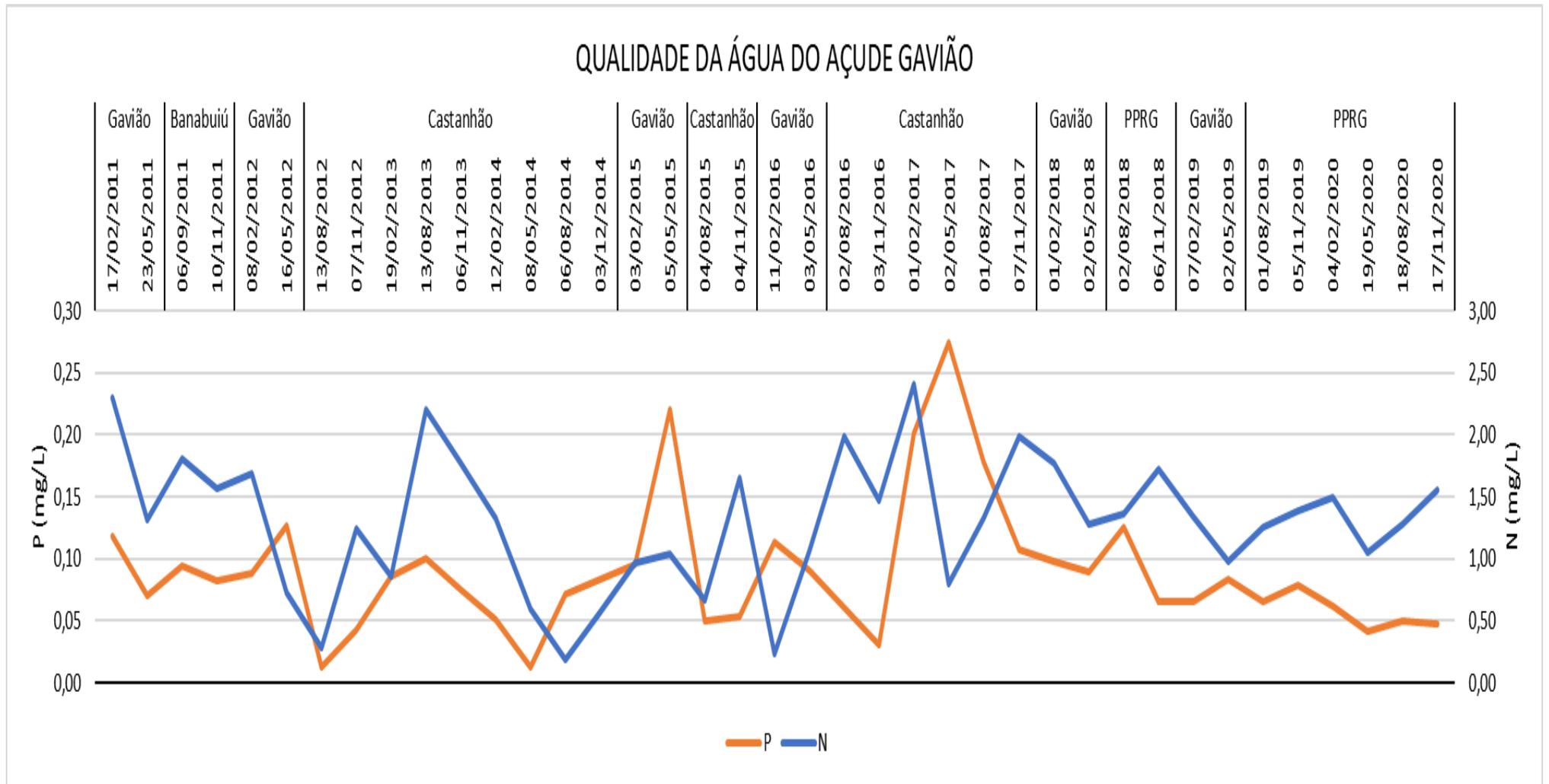
### **4.1. Qualidade da água no açude Gavião e a sua origem**

Quanto os dados de qualidade da água que chega no açude gavião, foram analisados os dados de fósforo, nitrogênio, cianobactérias e clorofila A, entre os anos de 2010 a 2021. Nesse mesmo período foi verificado ainda a origem da água que abastecia a RMF. Com essas informações foi elaborada uma linha do tempo com os dados de qualidade e origem da água (gráficos 1 e 2).

Os gráficos sugerem que existem uma variação da qualidade da água que chega no açude Gavião em função do reservatório. Em 2015 e 2017 houve um pico na concentração de fósforo da água que chegava no açude gavião e o reservatório que abastecia era a própria bacia do Gavião e o açude Castanhão respectivamente. Quanto ao nitrogênio os picos foram em 2013 e 2017, nesses períodos a água era proveniente do açude Castanhão.

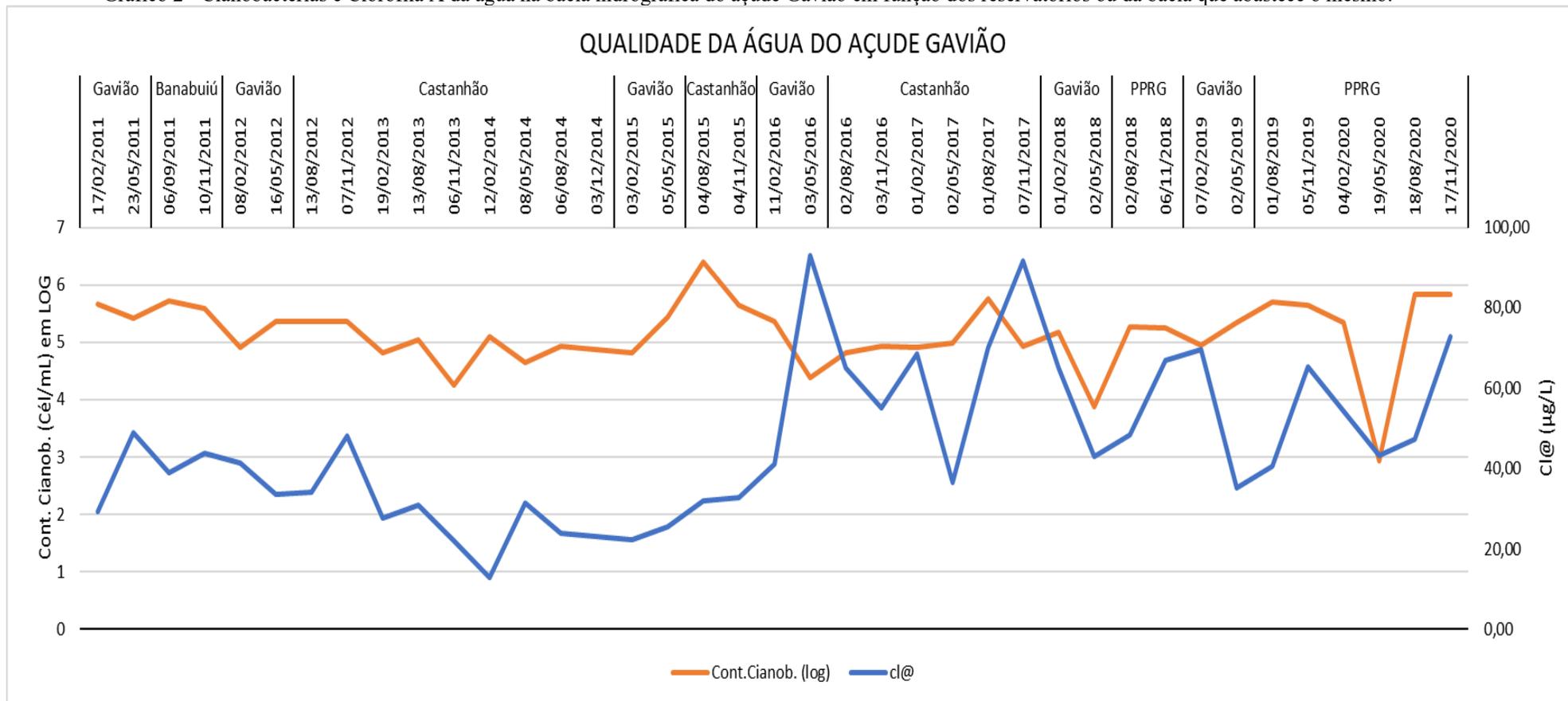
Em 2015 houve um pico de 2015 de cianobactérias quando o açude Castanhão abastecia a RMF, já a clorofila A, houve dois picos, em 2016 e 2017, com águas provenientes da bacia do Gavião e Castanhão, respectivamente.

Gráfico 1 - Fósforo e Nitrogênio da água na bacia hidrográfica do açude Gavião em função dos reservatórios ou da bacia que abastece o mesmo.



Fonte: O autor (2022)

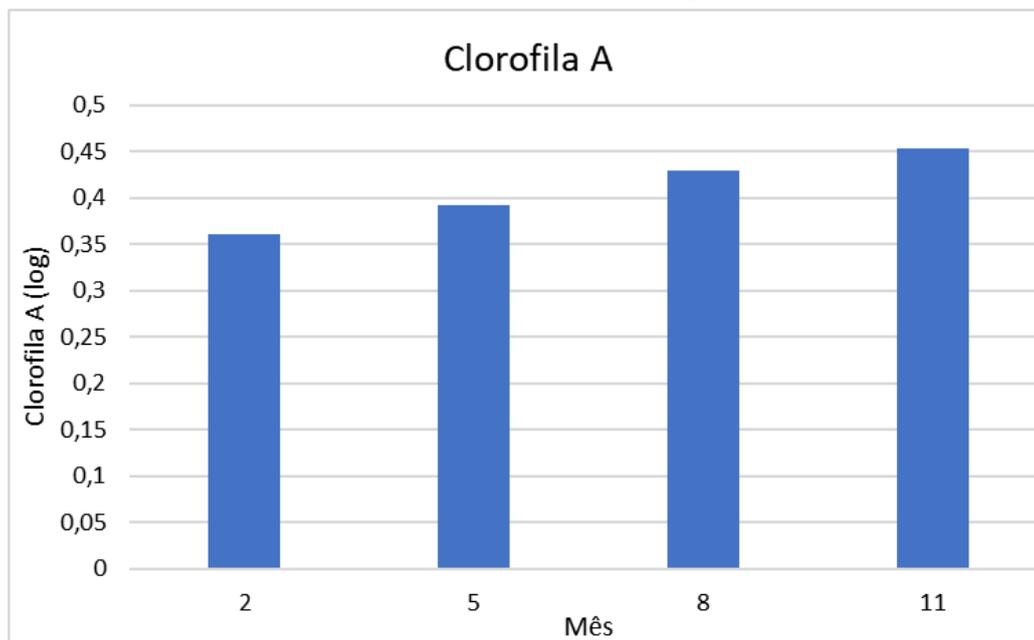
Gráfico 2 - Cianobactérias e Clorofila A da água na bacia hidrográfica do açude Gavião em função dos reservatórios ou da bacia que abastece o mesmo.



Fonte: O autor (2022)

Os dados disponibilizados foram monitorados trimestralmente. Com eles foram calculados tendência, sazonalidade e resíduo do fósforo, nitrogênio, cianobactérias e Clorofila A da água do açude Gavião, conforme apresentados nos gráficos seguintes:

Gráfico 3 - Efeito sazonal Clorofila A na bacia hidrográfica do açude Gavião



Fonte: O autor (2022)

Gráfico 4 - Efeito sazonal fósforo na bacia hidrográfica do açude Gavião

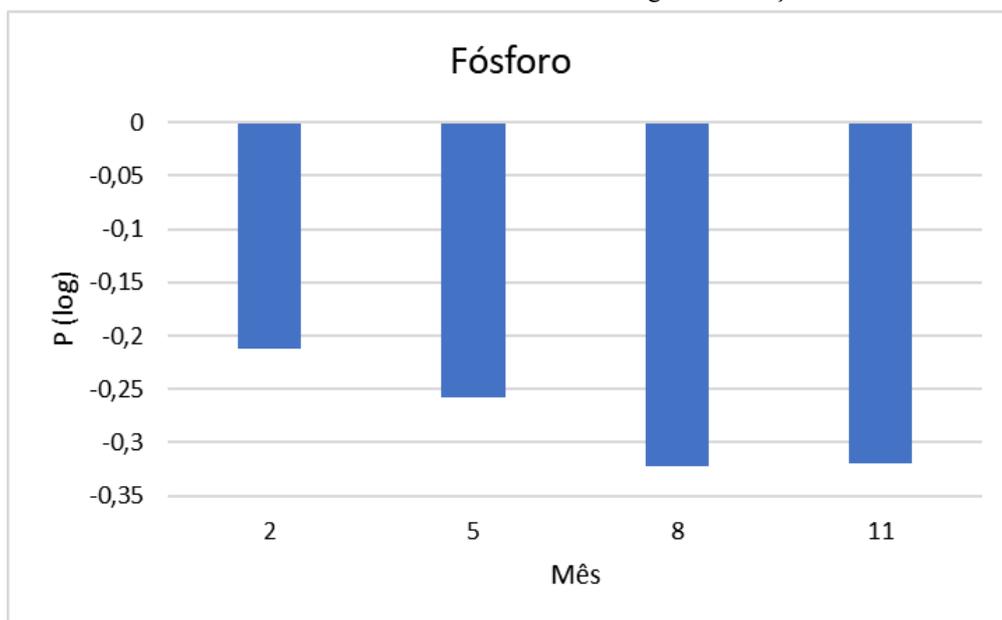
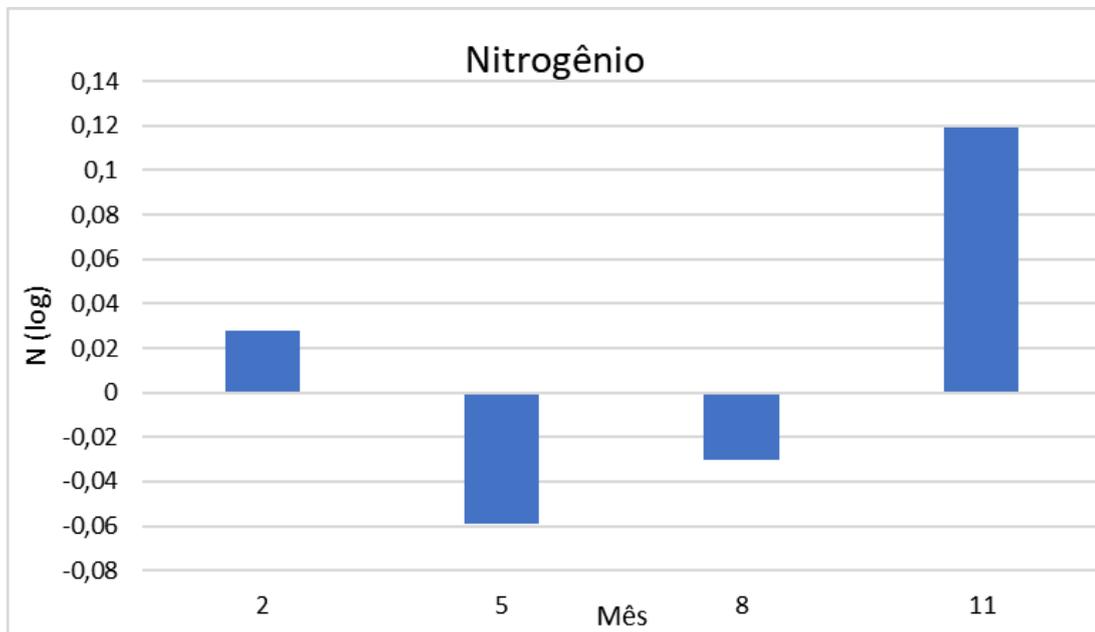
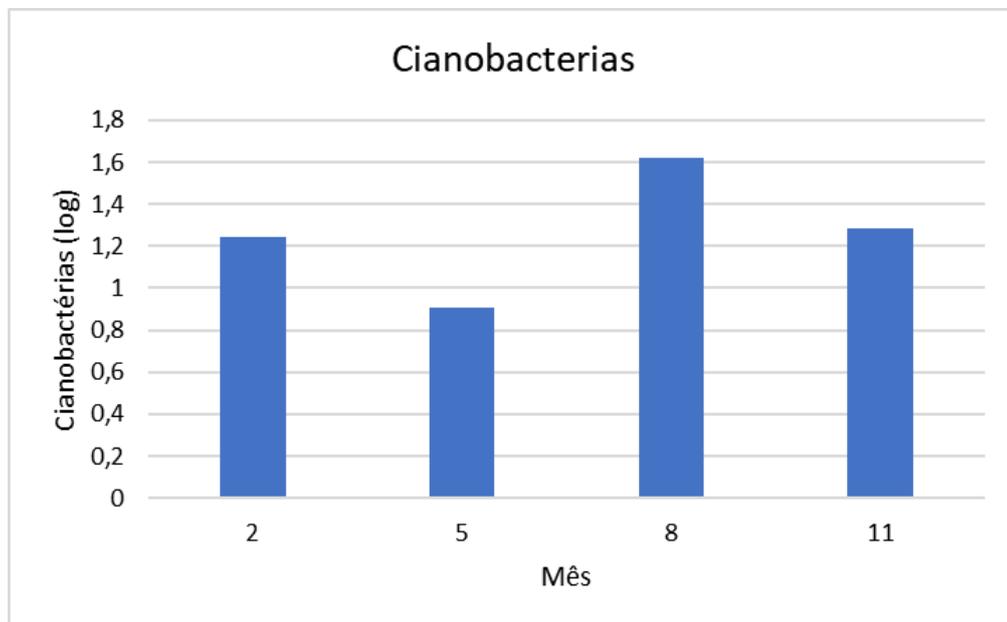


Gráfico 5 - Efeito sazonal Nitrogênio na bacia hidrográfica do açude Gavião



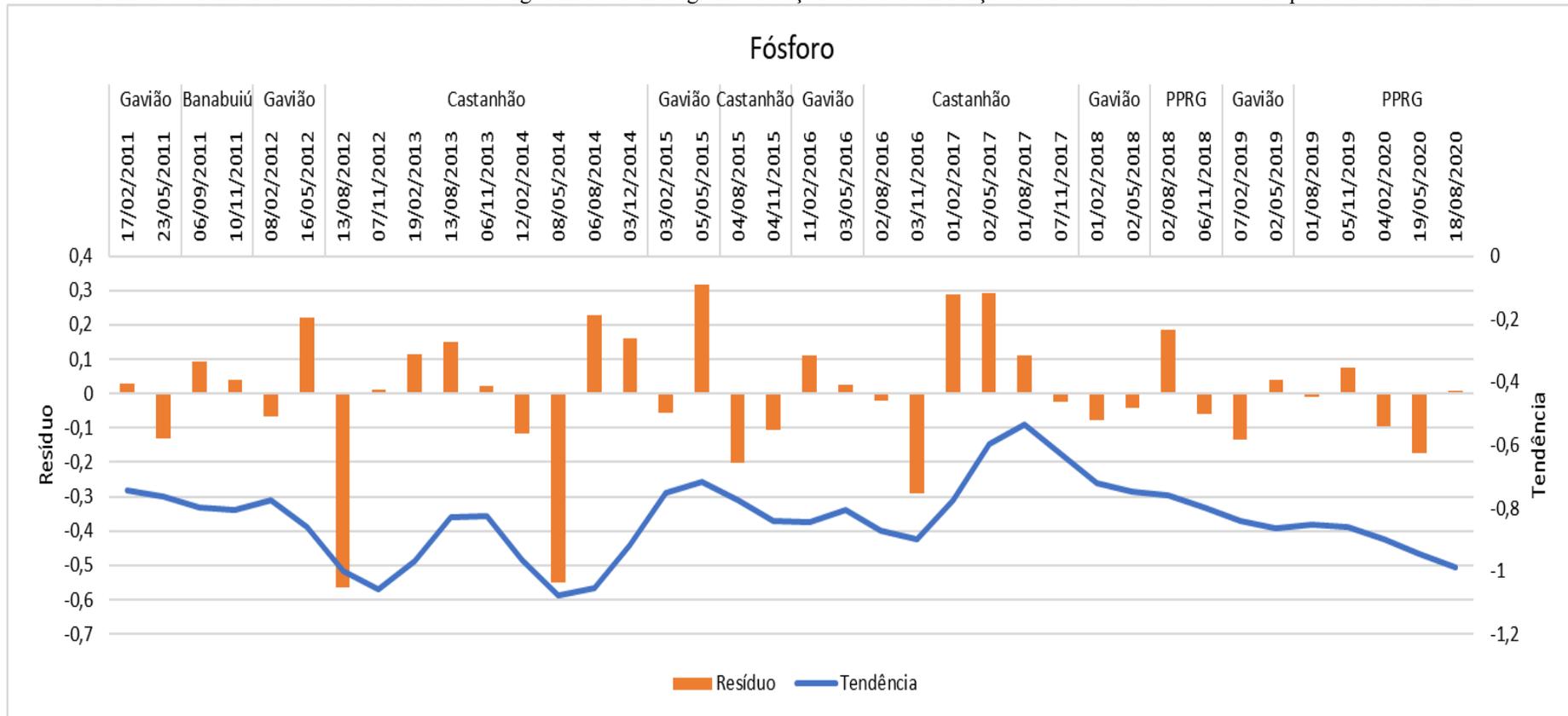
Fonte: O autor (2022)

Gráfico 6 - Efeito sazonal Cianobactérias na bacia hidrográfica do açude Gavião



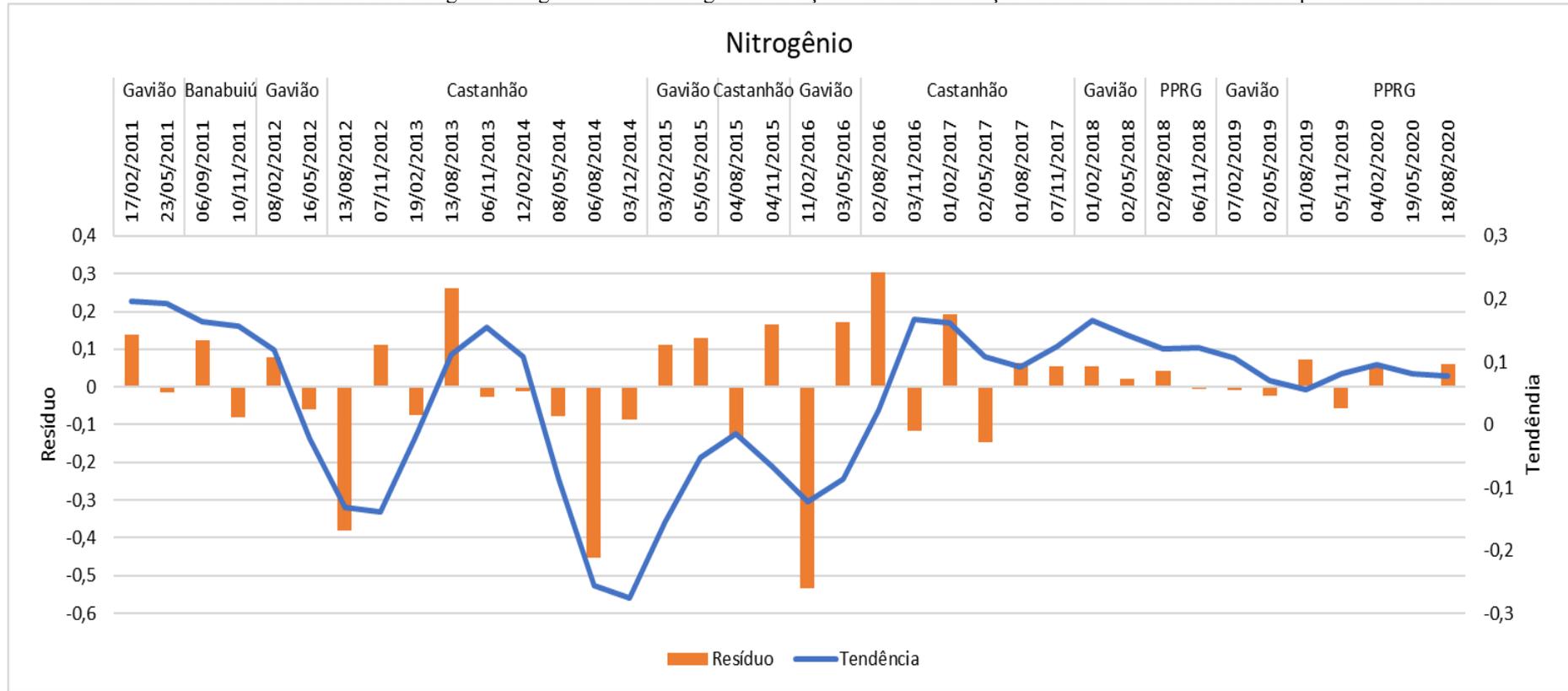
Fonte: O autor (2022)

Gráfico 7 - Tendência e resíduo do fósforo da água na bacia hidrográfica do açude Gavião em função dos reservatórios ou da bacia que abastece o mesmo.



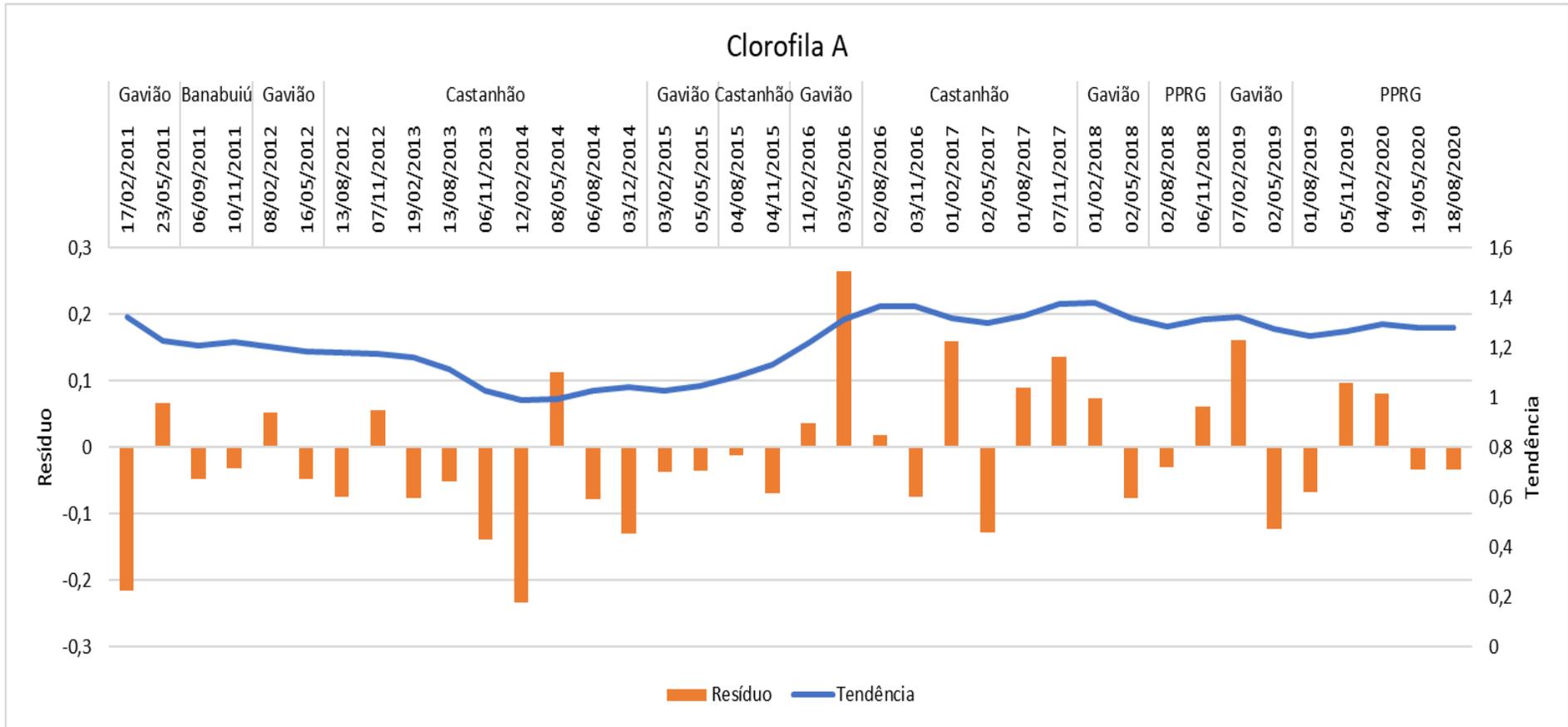
Fonte: O autor (2022)

Gráfico 8 - Tendência e resíduo do Nitrogênio da água na bacia hidrográfica do açude Gavião em função dos reservatórios ou da bacia que abastece o mesmo.



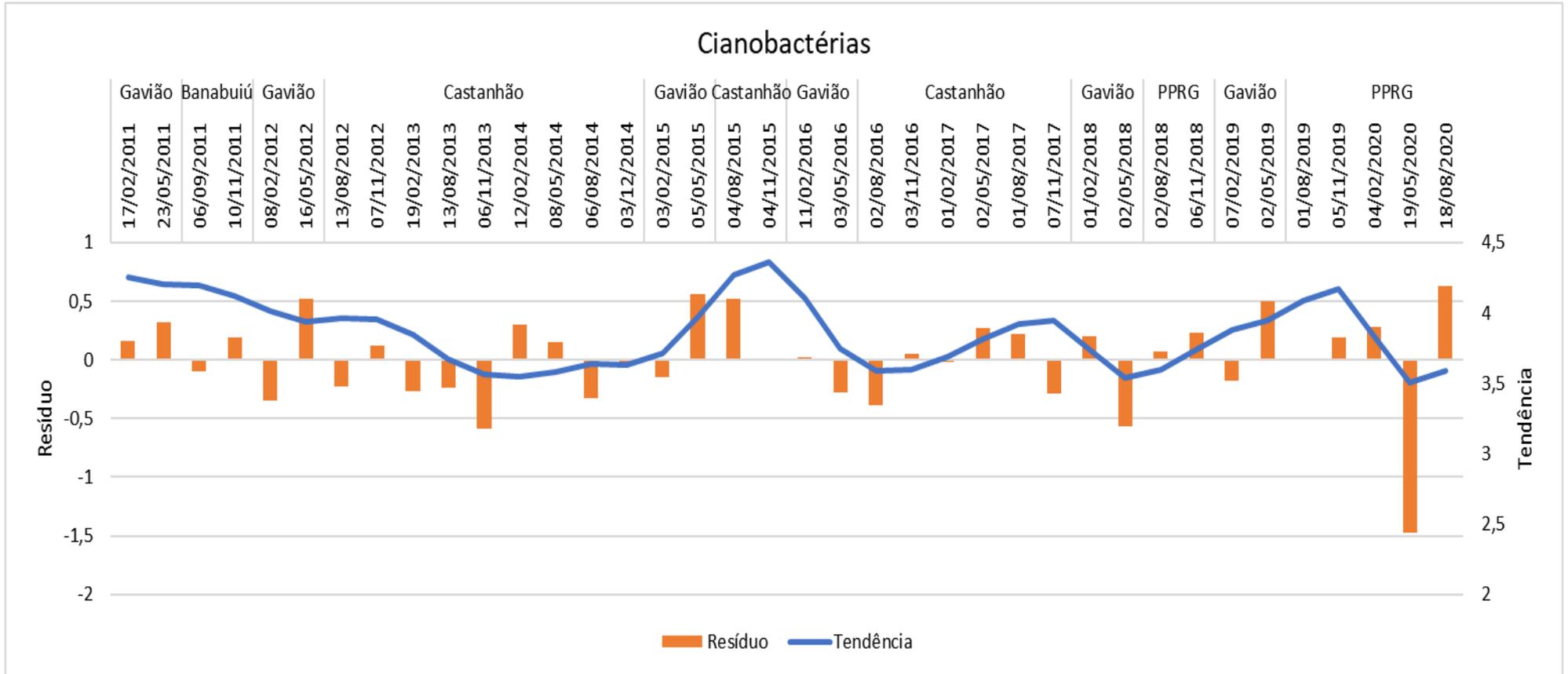
Fonte: O autor (2022)

Gráfico 9 - Tendência e Resíduo da Clorofila A da água na bacia hidrográfica do açude Gavião em função dos reservatórios ou da bacia que abastece o mesmo.



Fonte: O autor (2022)

Gráfico 10 - Tendência e Resíduo das cianobactérias da água na bacia hidrográfica do açude Gavião em função dos reservatórios ou da bacia que abastece o mesmo.



Fonte: O autor (2022)

Depois de realizada a decomposição da série temporal, foi aplicado o teste de Mann Kendall na variável tendência do fósforo, nitrogênio, clorofila A e cianobactérias, para verificar qual o tipo de tendência, nula, positiva ou negativa.

Tabela 2 - Mann Kendall Test Fósforo

<b>Mann-Kendall trend test / Two-tailed test: Fósforo</b>	
Kendall's tau	0,051
p-value (Two-tailed)	0,642
Sen Slope	0,063

Fonte: O autor (2022)

Tabela 3 - Mann Kendall Test Nitrogênio

<b>Mann-Kendall trend test / Two-tailed test: Nitrogênio</b>	
Kendall's tau	-0,028
p-value (Two-tailed)	0,806
Sen Slope	0,001

Fonte: O autor (2022)

Tabela 4 - Mann Kendall Test Clorofila A

<b>Mann-Kendall trend test / Two-tailed test: Clorofila A</b>	
Kendall's tau	0,138
p-value (Two-tailed)	0,221
Sen Slope	0,166

Fonte: O autor (2022)

Tabela 5 - Mann Kendal Test Cianobactérias

<b>Mann-Kendall trend test / Two-tailed test: Cianobactérias</b>	
Kendall's tau	-0,284
p-value (Two-tailed)	0,010
Sen Slope	-0,405

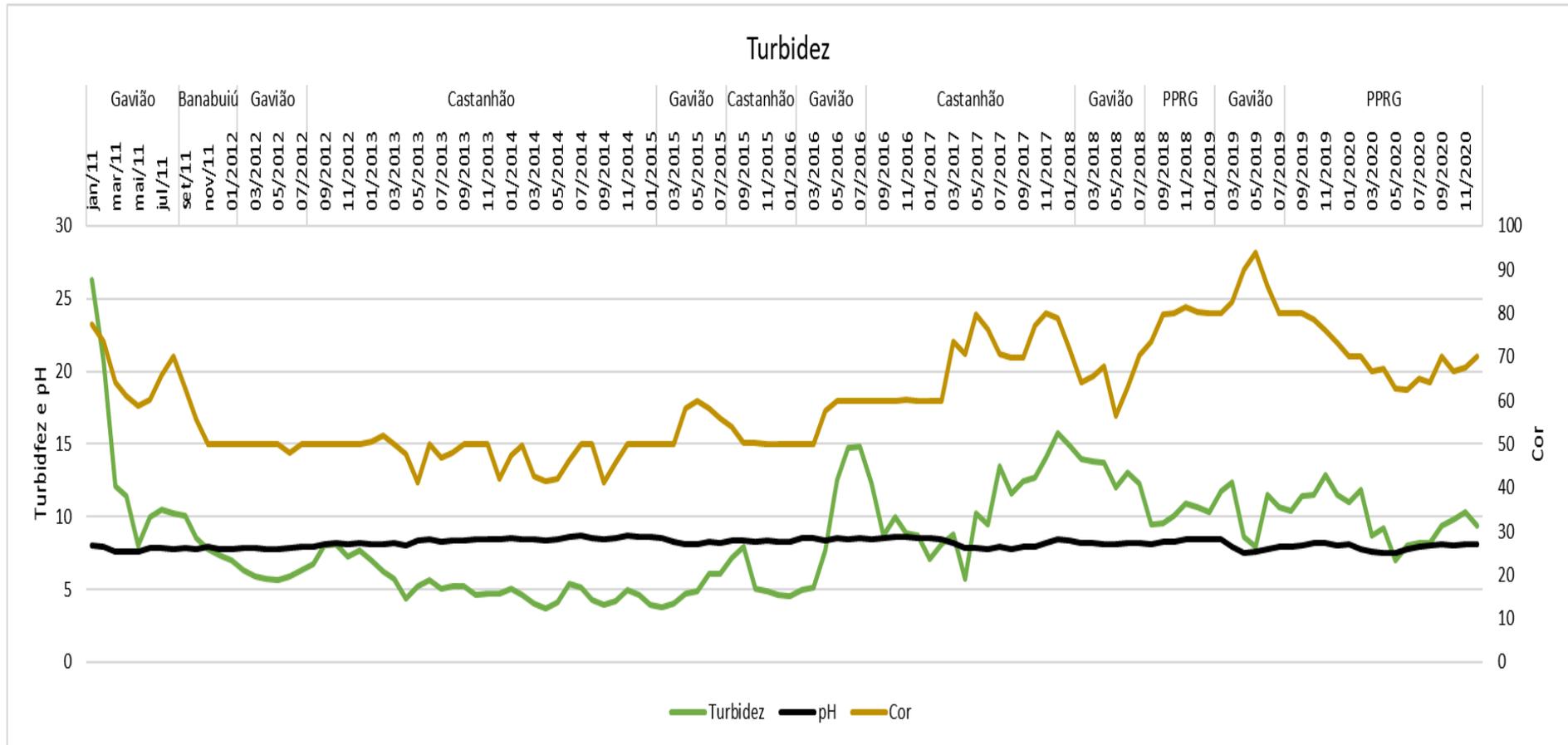
Fonte: O autor (2022)

Analisando os dados de tendência, efeito sazonal e resíduo, juntamente com os resultados do teste de Mann Kendall, podemos verificar que não existe tendência nas séries de fósforo, nitrogênio e clorofila A, existindo tendência apenas na série de cianobactérias e sendo negativa. Isso ocorre muito provavelmente por conta do TDH nos reservatórios, a insolação e a grande quantidade de cianobactérias, o mesmo também constatado por Fernandes et al. (2015) onde estudou a influência sazonal de metais totais e dissolvidos nas águas bacia do alto Sorocaba-SP. Verificamos ainda que a mudança do reservatório causa uma interferência na qualidade da água que chega no açude gavião.

#### **4.2. Qualidade da água afluyente a ETA Gavião**

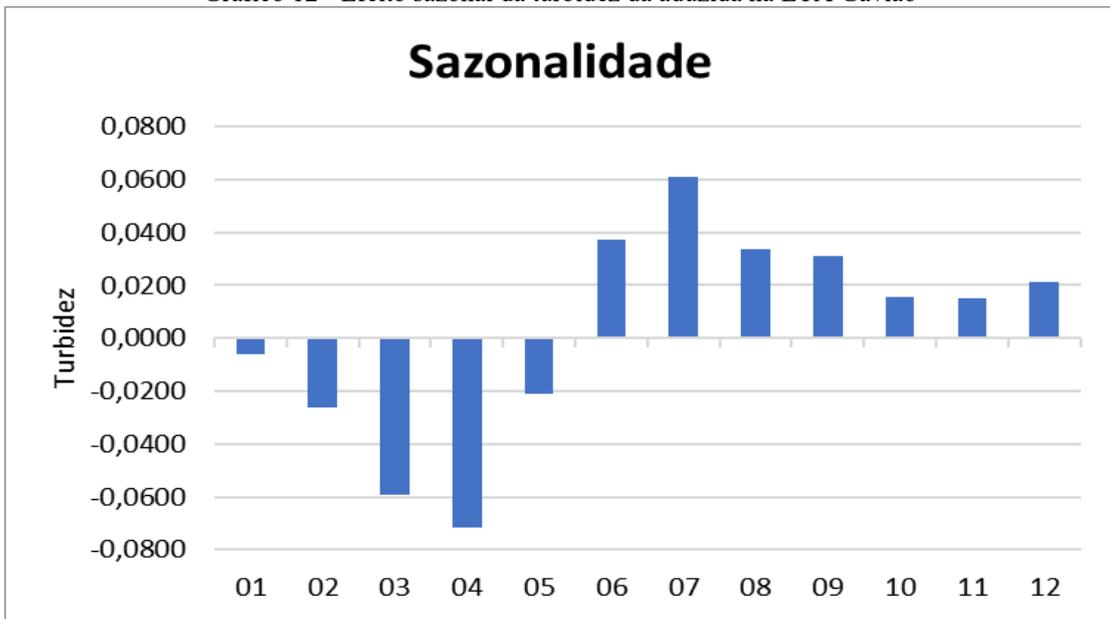
Quanto aos dados de qualidade da água que chega na ETA Gavião, ou seja, vazão efluente controlada do açude Gavião, a CAGECE disponibilizou dados de turbidez, cor e pH, entre dezembro de 2011 a dezembro de 2020. De posse deles, foi possível calcular tendência, efeito sazonal e resíduo da turbidez e cor (gráficos 13 a 17).

Gráfico 11 - Qualidade da água que chega aduzida na ETA Gavião



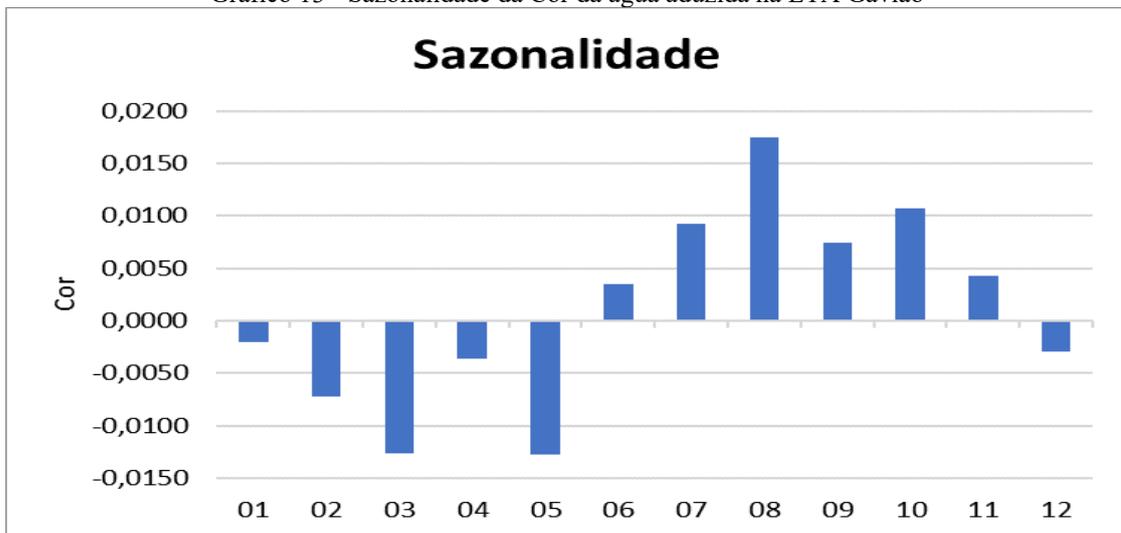
Fonte: O autor (2022)

Gráfico 12 - Efeito sazonal da turbidez da aduzida na ETA Gavião



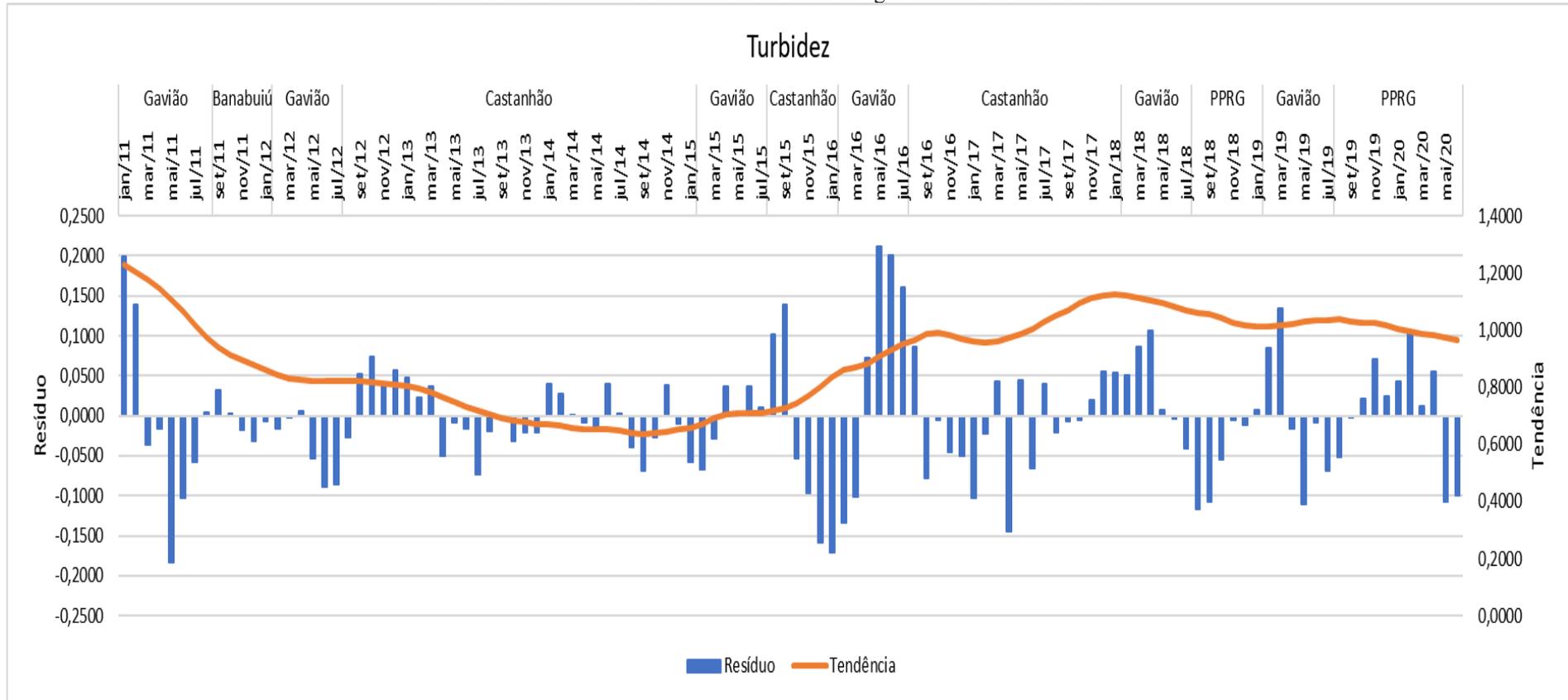
Fonte: O autor (2022)

Gráfico 13 - Sazonalidade da Cor da água aduzida na ETA Gavião



Fonte: O autor (2022)

Gráfico 14 - Tendência e Resíduo da turbidez da água aduzida na ETA Gavião



Fonte: O autor (2022)



Para a turbidez, foi possível verificar uma pequena sazonalidade positiva de junho a dezembro e negativa de janeiro a abril (gráfico 15). A cor acompanha a sazonalidade da turbidez, ainda que em menor proporção (gráfico 17). De acordo com os resultados do teste de Mann Kendall, foi possível verificar que as séries de turbidez e cor apresentam uma tendência positiva (tabelas 6 e 7).

Tabela 6 - Mann Kendall Test - Turbidez

<b>Mann-Kendall trend test / Two-tailed test: Turbidez</b>	
Kendall's tau	0,129
p-value (Two-tailed)	0,038
Sen Slope	0,129

Fonte: O autor (2022)

Tabela 7 - Mann Kendall Test Cor

<b>Mann-Kendall trend test / Two-tailed test: Cor</b>	
Kendall's tau	0,405
p-value (Two-tailed)	<0,001
Sen Slope	0,166

Fonte: O autor (2022)

Conforme os dados apresentados sobre a transposição de águas entre bacias, pode-se verificar que houve uma tendência positiva nas variáveis turbidez e cor, como também um aumento da concentração de fósforo na água que chega no açude gavião, muito provavelmente em função do aumento da poluição ambiental promovidas pelas ações antrópicas dentro da bacia hidrográfica do açude Gavião. Para Wang et al. (2016), esses efeitos são ocasionados por conta das condições hidrológicas, na fauna e flora aquática e em consequência da variação do tempo de detenção hidráulica e da recirculação de nutrientes.

#### 4.3. Regressão linear múltipla da qualidade da água

A Regressão Linear Múltipla foi realizada tendo como variável alvo a tendência da turbidez e da cor. Quando a turbidez foi a alvo, os dados demonstraram uma correlação forte entre a mesma e o fósforo e as cianobactérias (tendência), sendo capazes de explicar 51% da variação da turbidez (Tabela 8). Quando a cor foi a variável alvo os dados demonstraram uma correlação forte também entre a mesma e o fósforo e as cianobactérias (tendência), sendo capazes de explicar 89% da variação da cor (Tabela 9).

Tabela 8 - Regressão linear múltipla da Turbidez como preditora

<b>R<sup>2</sup></b>	<b>R<sup>2</sup> adj</b>	<b>Estatística F</b>	<b>p</b>
0,52	0,51	39,62	<0,001

Fonte: O autor

Tabela 9 - Regressão linear múltipla da cor como preditora

<b>R<sup>2</sup></b>	<b>R<sup>2</sup> adj</b>	<b>Estatística F</b>	<b>p</b>
0,89	0,89	292,71	<0,001

Fonte: O autor

As equações estimadas para explicar a turbidez e a cor em função do fósforo e cianobactérias são mostradas a seguir:

$$\text{Turbidez} = 1,419563 + 0,208669 \text{ Fósforo} + 0,597492 \text{ Cianobactérias}$$

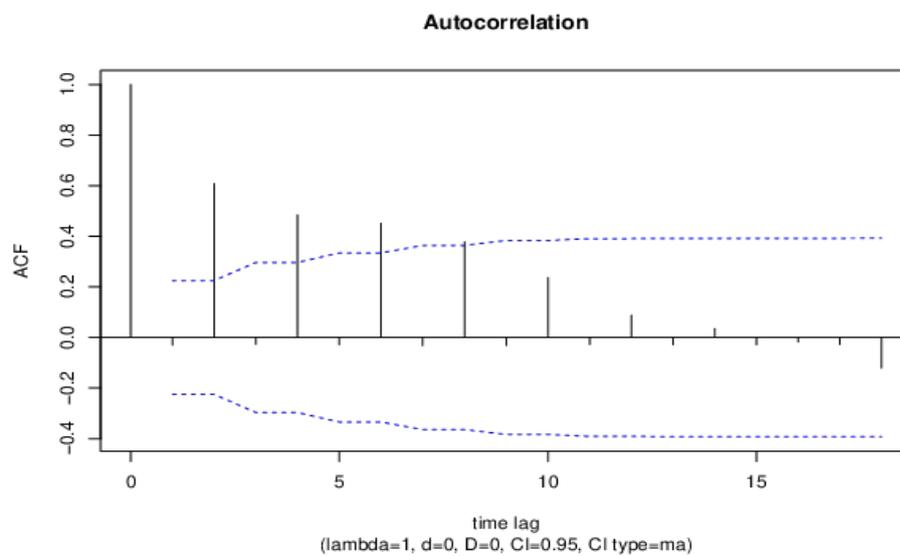
Equação 5

$$\text{Cor} = 3,688413 + 0,658189 \text{ Fósforo} + 0,375192 \text{ Cianobactérias}$$

Equação 6

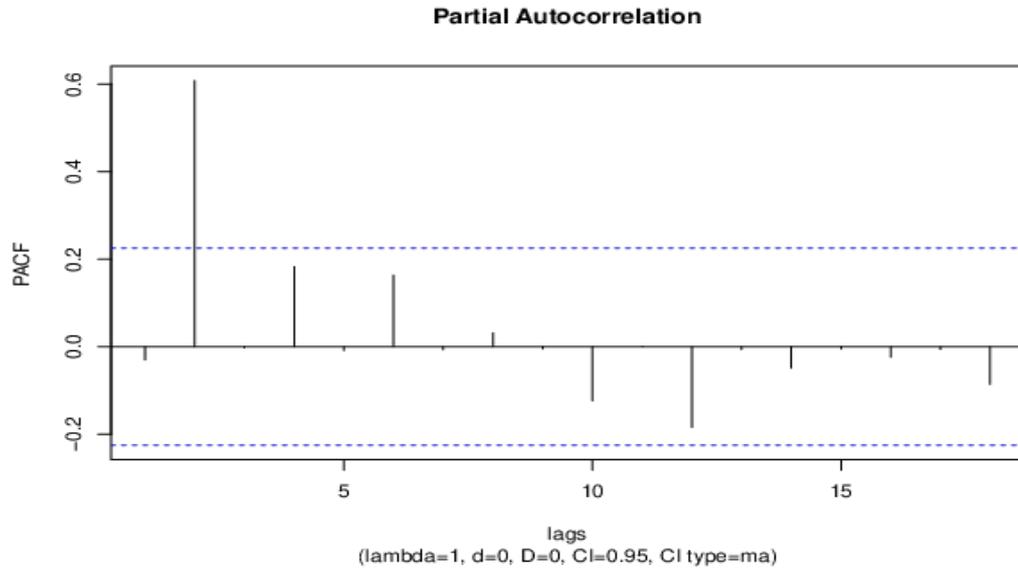
A função de autocorrelação foi aplicada utilizando o resíduo das regressões lineares, em que foi possível identificar que, apesar das regressões terem apresentado bons resultados, os erros são correlacionados, sendo necessário um melhor ajuste utilizando o método GLS. Os resultados são apresentados a seguir:

Gráfico 16 - Autocorrelação para a regressão linear da turbidez



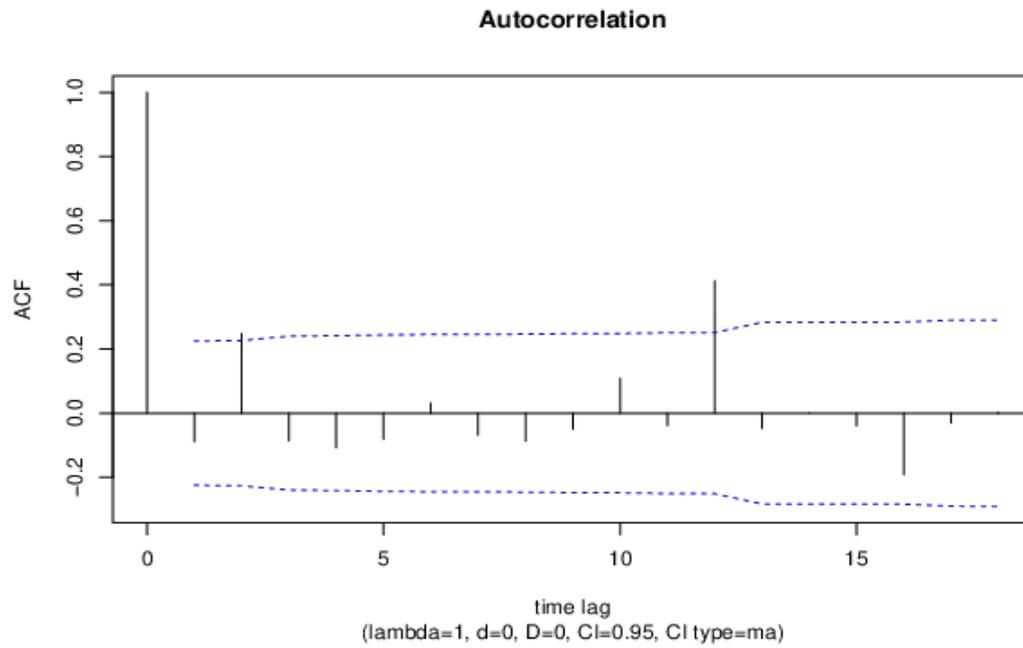
Fonte: O autor

Gráfico 17 - Autocorrelação parcial para a regressão linear da turbidez



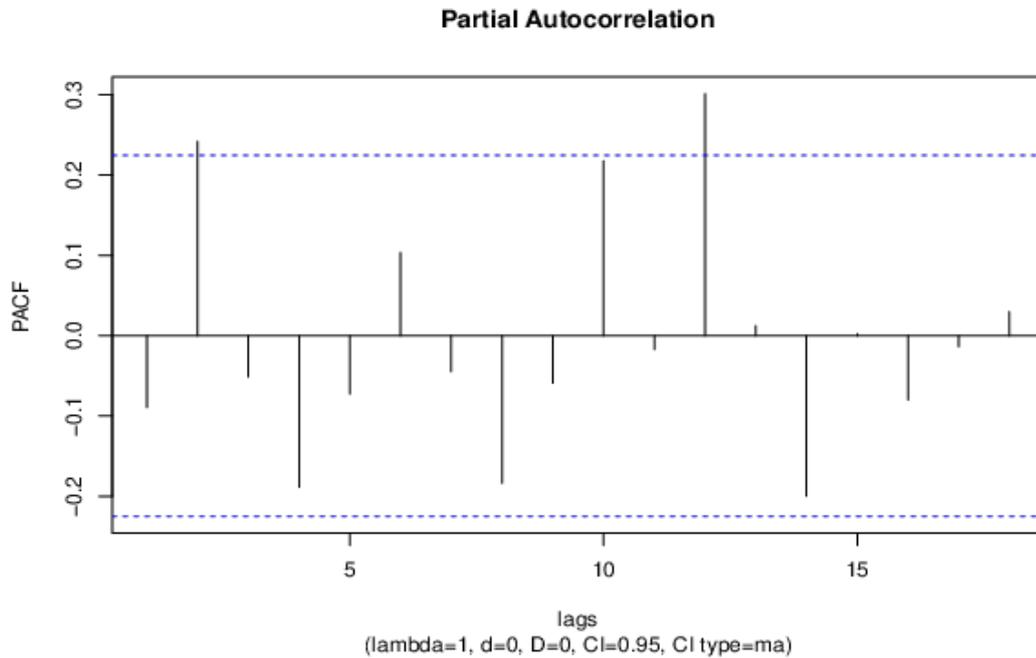
Fonte: O autor

Gráfico 18 - Autocorrelação para a regressão linear da cor



Fonte: O autor

Gráfico 19 - Autocorrelação parcial para a regressão linear da cor



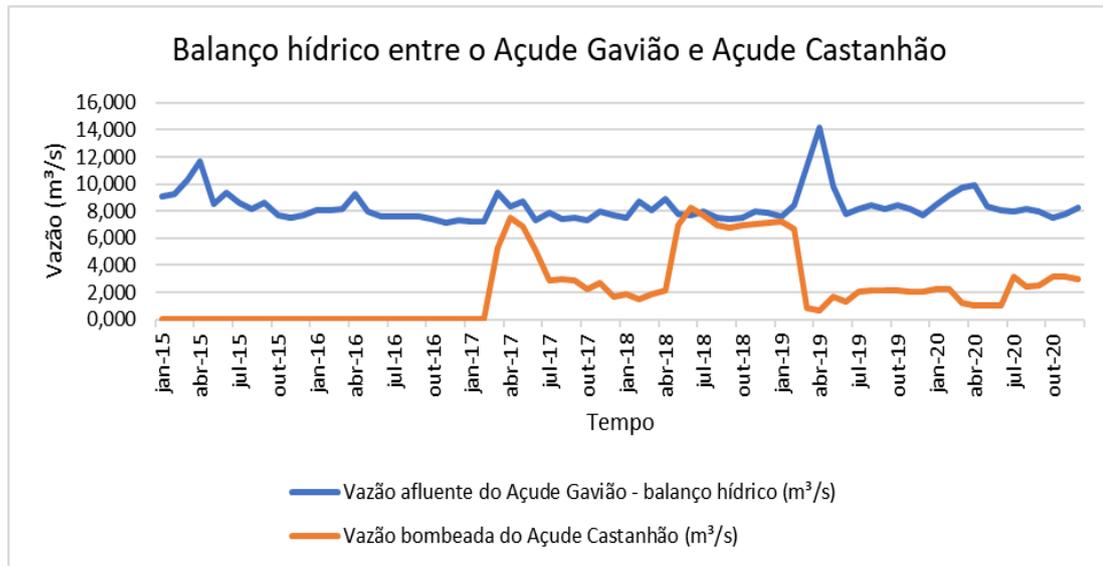
Fonte: O autor

#### 4.4. Aporte de fósforo

Outros dados importantes que a COGERH disponibilizou foram os dados de vazão liberada pelo Açude Castanhão e vazão afluente ao açude Gavião, já a CAGECE disponibilizou as retiradas de água do açude Gavião de 2015 a 2020.

Com esses dados foi possível realizar um balanço hídrico neste período para quantificar a concentração de fósforo que efetivamente sai do açude Castanhão e a concentração que efetivamente chega no Açude Gavião. O gráfico 11 mostra o balanço hídrico entre a vazão de saída do açude Castanhão e a vazão afluente do açude Gavião, já no gráfico 12 mostra o comportamento do aporte de fósforo.

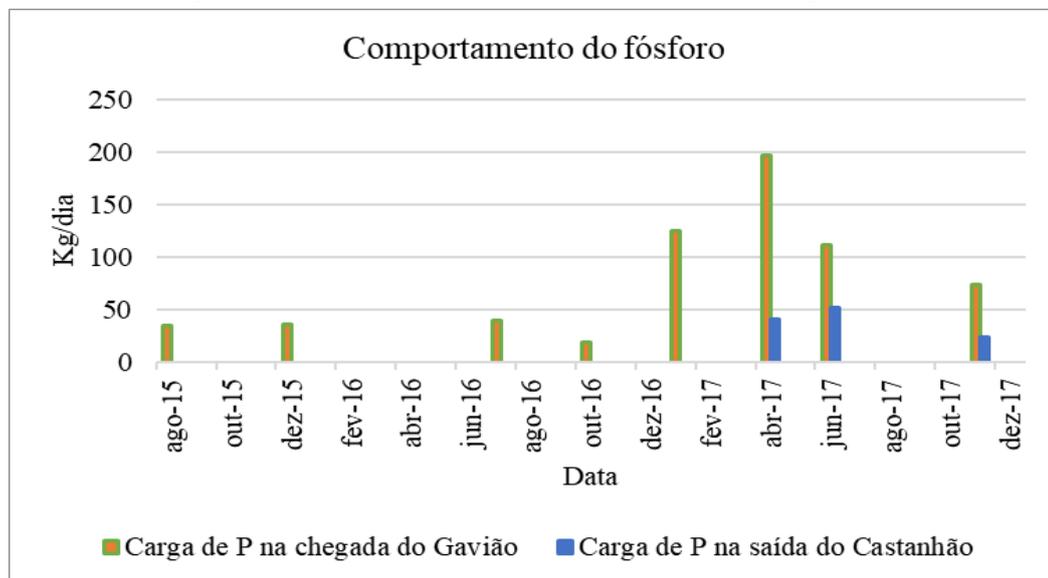
Gráfico 20 – Evolução Histórica da vazão afluente do Açude Gavião e da vazão liberada pelo Açude Castanhão



Fonte: O autor (2022).

O gráfico 12 mostra a concentração de fósforo que chega no açude Gavião e a concentração liberada pelo Açude Castanhão. A concentração de fósforo que chega no Gavião é em geral maior do que a liberada pelo Castanhão, sugerindo que esse aporte seja posterior ao Açude Castanhão.

Gráfico 21 - Aporte de fósforo no açude Gavião x Liberação de fósforo pelo açude Castanhão



Fonte: O autor (2022)

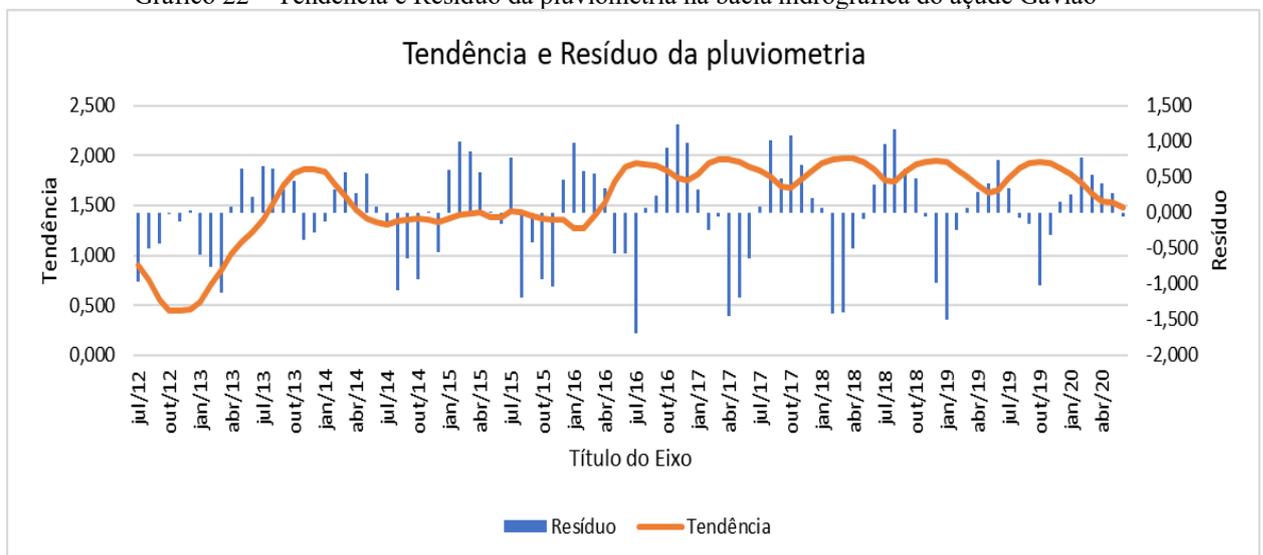
Possivelmente tais aportes de fósforo sejam provenientes de atividades antrópicas jusante ao açude Castanhão. Entre as possíveis cargas externas que podem contribuir para uma

maior concentração de fósforo, estão as fontes pontuais e fontes não pontuais. Em estudo realizado por ROCHA e LIMA NETO (2022), identificou que as principais fontes não pontuais de fósforo são o esterco animal, produção agrícola e erosão natural do solo, já as fontes pontuais, são a piscicultura e esgoto. Foi observado ainda pelos mesmos autores que essas cargas de fósforo tendem a aumentar em períodos de escassez hídrica. Outro fator a ser levado em consideração quanto ao fósforo presente, são com relação a própria carga interna dentro dos reservatórios, através da liberação do fósforo dos sedimentos. Em estudo realizado por MOURA et al., (2022), verificou que quanto mais antigo o reservatório maior será quantidade de fósforo presente no sedimento, em especial na forma de ortofosfato, o que contribui para a proliferação de algas nocivas na água.

#### 4.5. O efeito da precipitação na bacia hidrográfica do Açude Gavião

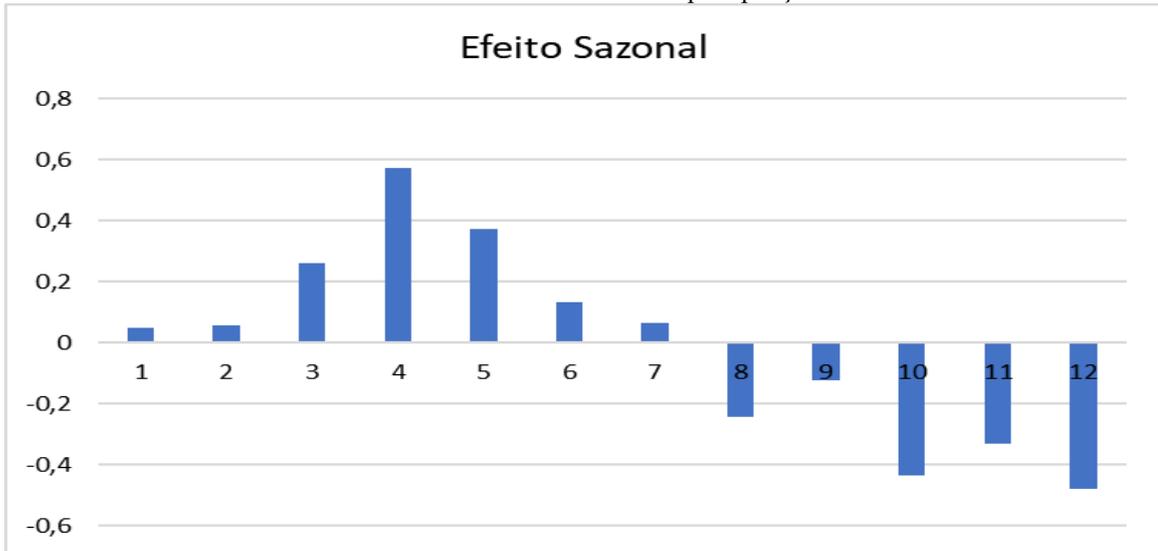
Com a série temporal de uma estação meteorológica, disponibilizada pela FUNCEME, localizada na bacia hidrográfica do açude Gavião foi decomposta em tendência, o efeito sazonal e o resíduo entre os anos de 2012 e 2020. Os resultados são apresentados (Gráficos 22 e 23) logo abaixo:

Gráfico 22 – Tendência e Resíduo da pluviometria na bacia hidrográfica do açude Gavião



Fonte: O autor (2022)

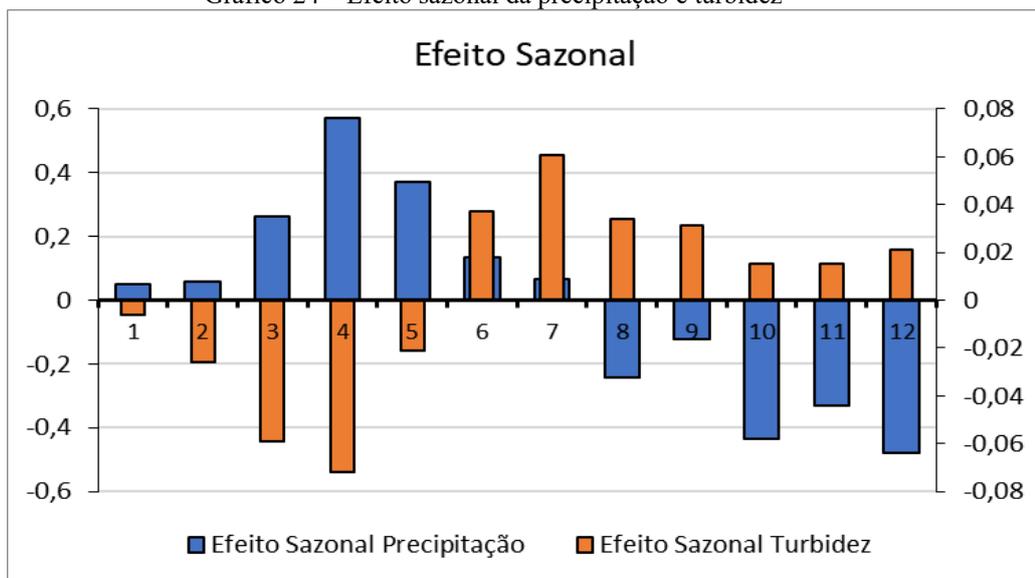
Gráfico 23 – Efeito Sazonal da precipitação



Fonte: O autor (2022)

O gráfico 24 faz uma comparação da sazonalidade da precipitação com a turbidez da água bruta que chega na ETA Gavião, onde foi possível verificar um tempo de resposta de três a dois meses entre o aumento da precipitação para o aumento da turbidez.

Gráfico 24 – Efeito sazonal da precipitação e turbidez



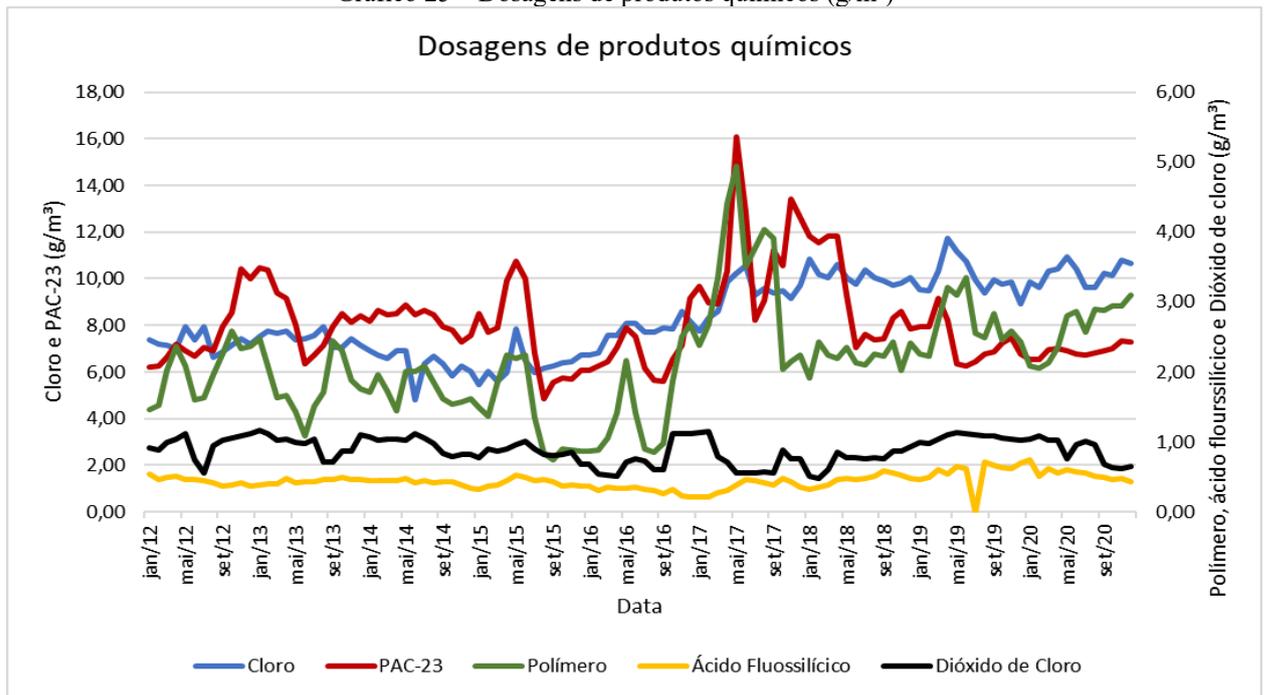
Fonte: O autor (2022)

Foi verificado, ainda, que o açude Gavião apresenta variação na turbidez no decorrer do ano, ocorre uma sazonalidade no segundo semestre, enquanto as precipitações são menores, provavelmente por conta de uma maior concentração de microrganismos, menores aportes de água e pelo TDH favorecendo a proliferação de algas e microrganismos. Por conta de altos valores de TDH é comum, em reservatórios localizados em regiões do semiárido, a baixa qualidade de suas águas devido às altas concentrações de nutrientes, por conta da maior retenção de cargas de nutrientes, em especial o fósforo e o nitrogênio, e acúmulo de sedimentos (SOUZA et al., 2003). Já no primeiro semestre, por conta dos maiores aportes de água, a turbidez apresentou sazonalidade baixa. Foi possível, ainda, verificar que existe uma diferença de dois a três meses entre o pico sazonal da precipitação e o da turbidez.

Quanto à variabilidade da qualidade da água, podemos associá-la também à pluviometria onde, em períodos chuvosos, foi detectada uma melhora significativa na qualidade da água, por conta dos maiores aportes de água, diluição das concentrações presentes nos reservatórios, bem como do efeito da renovação da água do açude, enquanto em períodos sem chuvas, teve uma piora na qualidade, justamente por conta dos menores aportes de água e aumento das concentrações.

#### **4.6. Custo de produção**

De acordo com os dados disponibilizados pela CAGECE, a utilização de produtos químicos vem aumentando nos últimos anos, tendo um pico em 2017, na dosagem de PAC-23 e polímero. Conforme a CAGECE, este fato, provavelmente, tenha ocorrido por conta de uma piora na qualidade da água de recirculação, conforme mostra o gráfico 25:

Gráfico 25 – Dosagens de produtos químicos (g/m<sup>3</sup>)

Fonte: O autor (2022)

O aumento da turbidez influencia o aumento na utilização de produtos químicos para a garantia da potabilidade da água; há uma tendência positiva da turbidez e uma sazonalidade positiva de maio a dezembro. Já os custos para o tratamento por m<sup>3</sup>, onde são incluídos os gastos com a outorga, energia elétrica, produto químico, pessoal e manutenção dos sistemas, conforme os dados da CAGECE, disponibilizados a partir de janeiro de 2013, sofreram um acréscimo de 83,6%.

Com os dados de dosagens de produtos químicos para o tratamento de água, foi verificada a correlação entre eles através do coeficiente de Pearson, onde se busca verificar a correlação entre as variáveis. Conforme o resultado do teste, foi verificado que existe uma correlação moderada entre as variáveis com o polímero e uma correlação fraca com o PAC-23 e o Cloro.

Tabela 10 – Teste de correlação entre as variáveis

	<i>Cloro</i>	<i>PAC-23</i>	<i>Polímero</i>
<i>Cloro</i>	1		
<i>PAC-23</i>	0,19974	1	
<i>Polímero</i>	0,625081	0,477328	1

Fonte: O autor (2022)

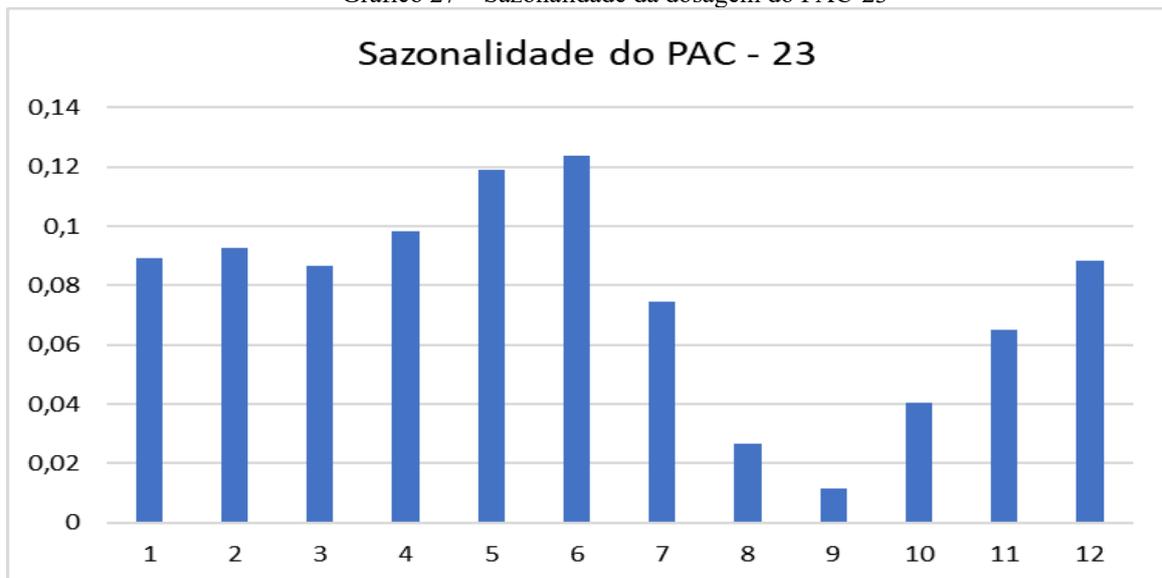
Com os dados, foi realizado o cálculo de tendência, resíduo e efeito sazonal das dosagens de produtos químicos (Cloro e PAC-23) que tinham uma correlação fraca e no custo total de produção, cujos resultados são mostrados nos gráficos 26 a 29:

Gráfico 26 – Efeito Sazonal da dosagem do Cloro



Fonte: O autor (2022)

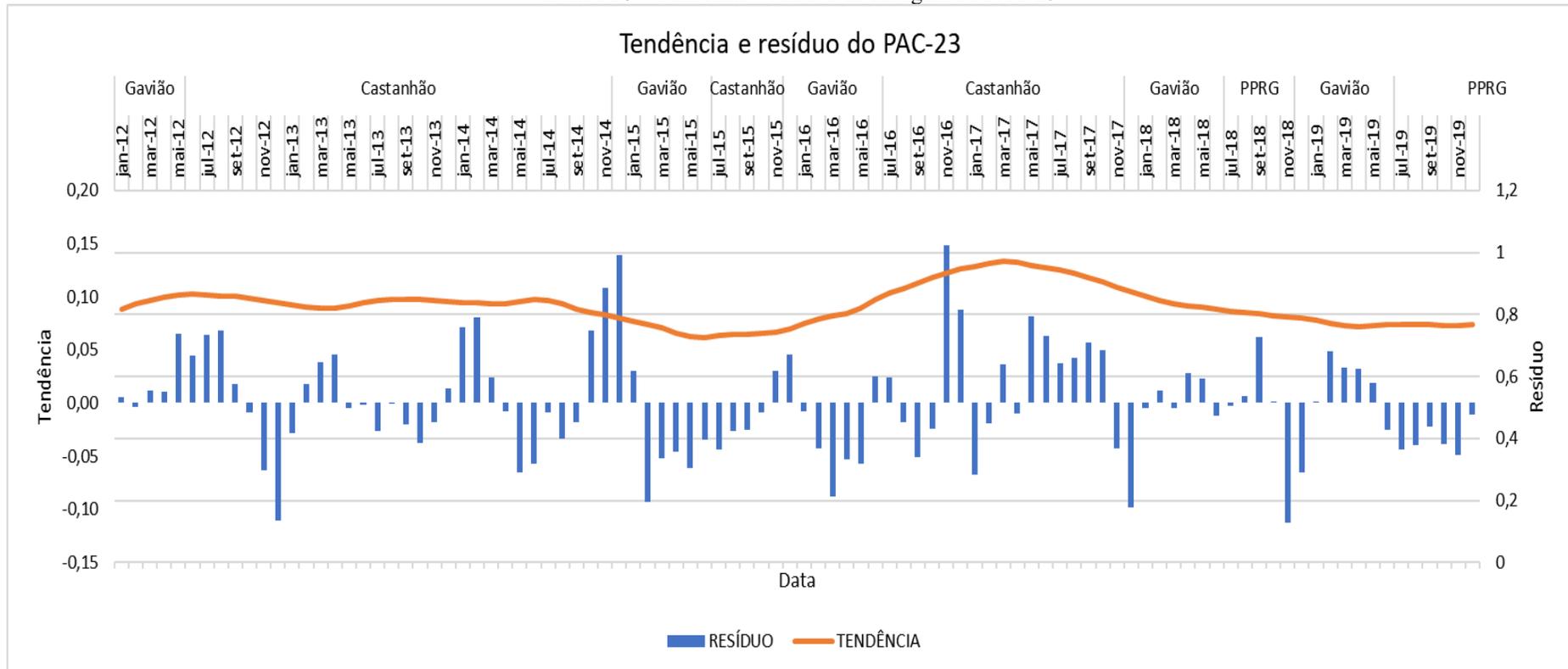
Gráfico 27 – Sazonalidade da dosagem do PAC-23



Fonte: O autor (2022)

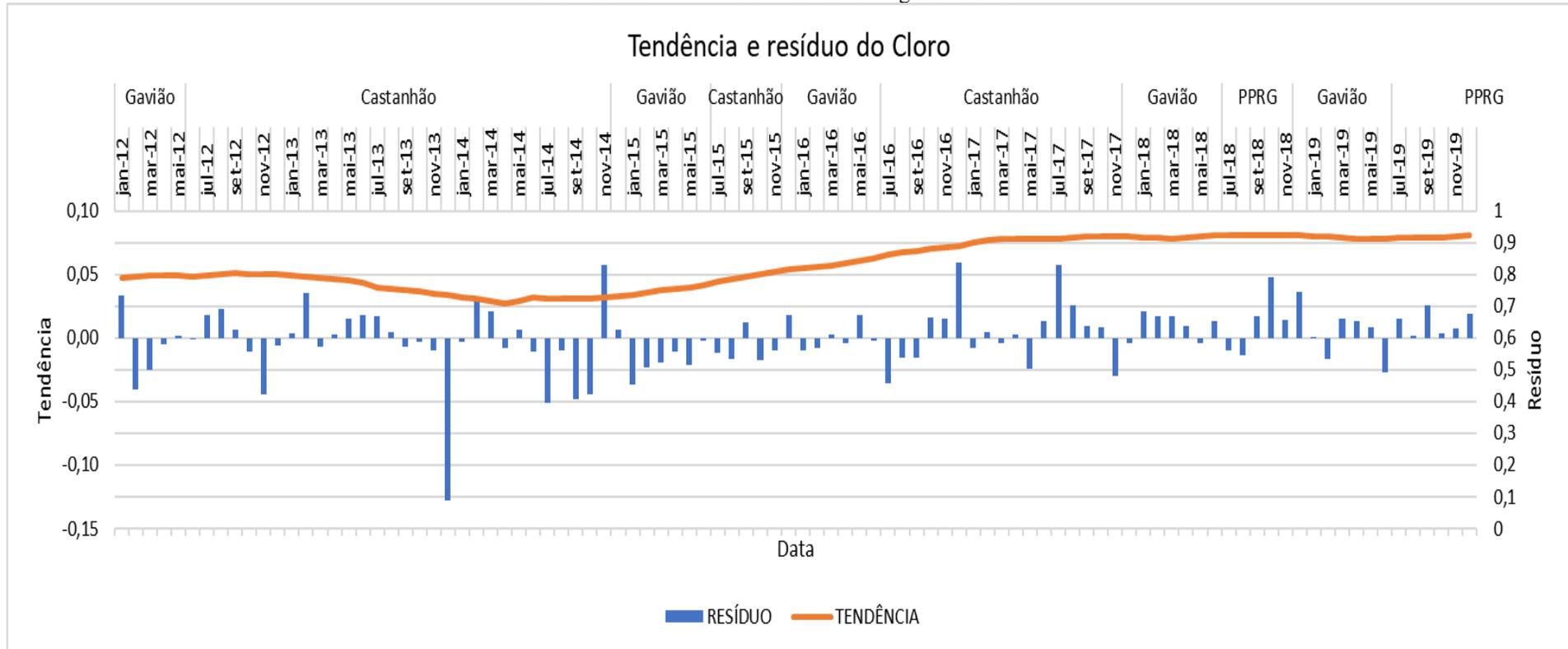
O PAC-23 atua no tratamento de água como auxiliar na coagulação e no gráfico 29 apresenta uma sazonalidade crescente de outubro a junho, nos meses de julho, agosto e setembro, apresenta uma queda, correspondendo com a sazonalidade na turbidez, que nesses meses também apresenta uma queda.

Gráfico 28 – Tendência e resíduo da dosagem do PAC-23



Fonte: O autor (2022)

Gráfico 29 – Tendência e Resíduo da dosagem do Cloro



Fonte: O autor (2022)

Tabela 11 – Mann Kendall Test – Cloro

<b>Mann-Kendall trend test / Two-tailed test: Cloro</b>	
Kendall's tau	0,600
p-value (Two-tailed)	<0,001
Sen Slope	0,200

Fonte: O autor (2022)

Tabela 12 – Mann Kendall Test – PAC – 23

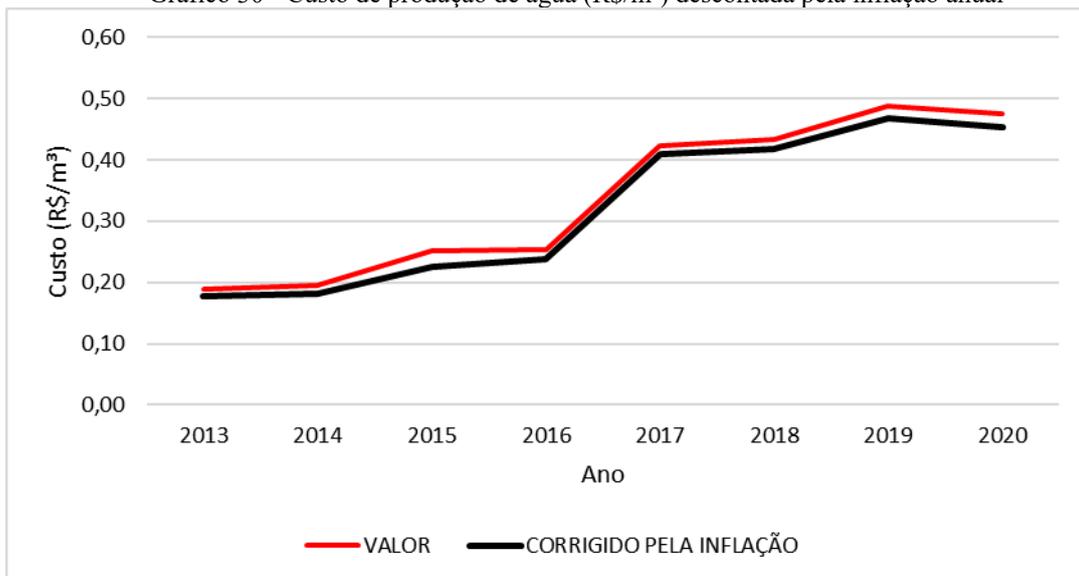
<b>Mann-Kendall trend test / Two-tailed test: PAC – 23</b>	
Kendall's tau	-0,191
p-value (Two-tailed)	0,007
Sen Slope	-0,05

Fonte: O autor (2022)

Conforme o Mann Kendall Test, foi possível verificar que existe tendência no cloro e no PAC-23, enquanto no cloro a tendência é positiva, no PAC-23 a tendência é negativa. Quanto à sazonalidade, verificamos que foi positiva para o Cloro, sendo maior no mês de junho e para o PAC-23 foi maior no início do ano com pico também em junho, sendo decrescente entre julho e setembro.

A CAGECE disponibilizou os dados de 2013 a 2020 do custo total de produção para cada m<sup>3</sup> de água. Nesses custos estão inclusos: produtos químicos, energia, outorga, manutenção e pessoal. No gráfico 30 é mostrado os valores anuais, descontado o valor da inflação anual.

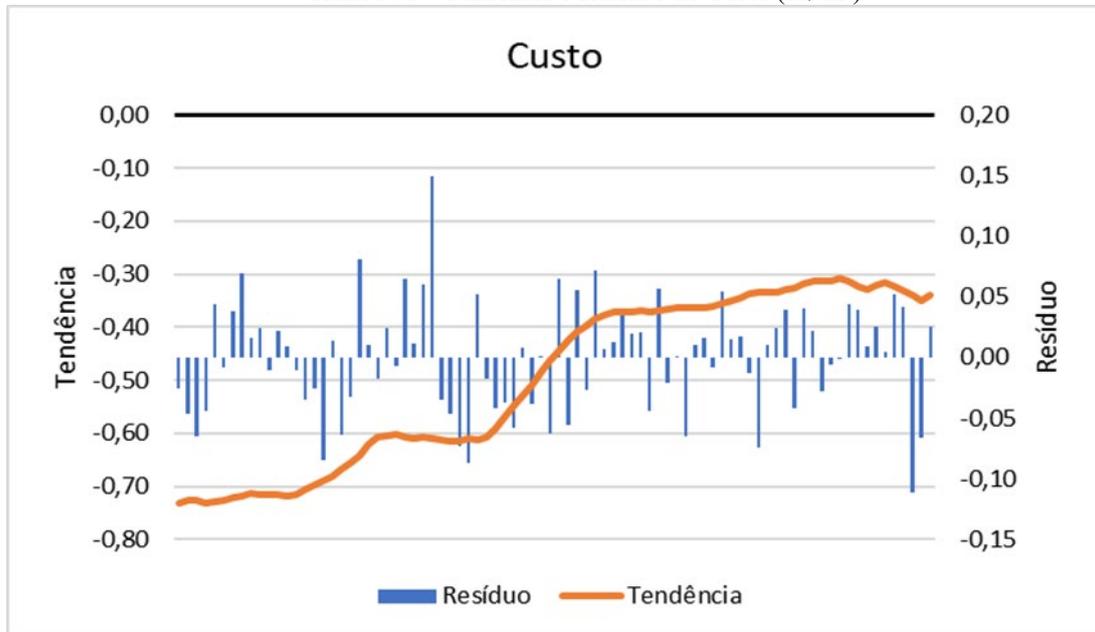
Gráfico 30 - Custo de produção de água (R\$/m<sup>3</sup>) descontada pela inflação anual



Fonte: O autor (2022)

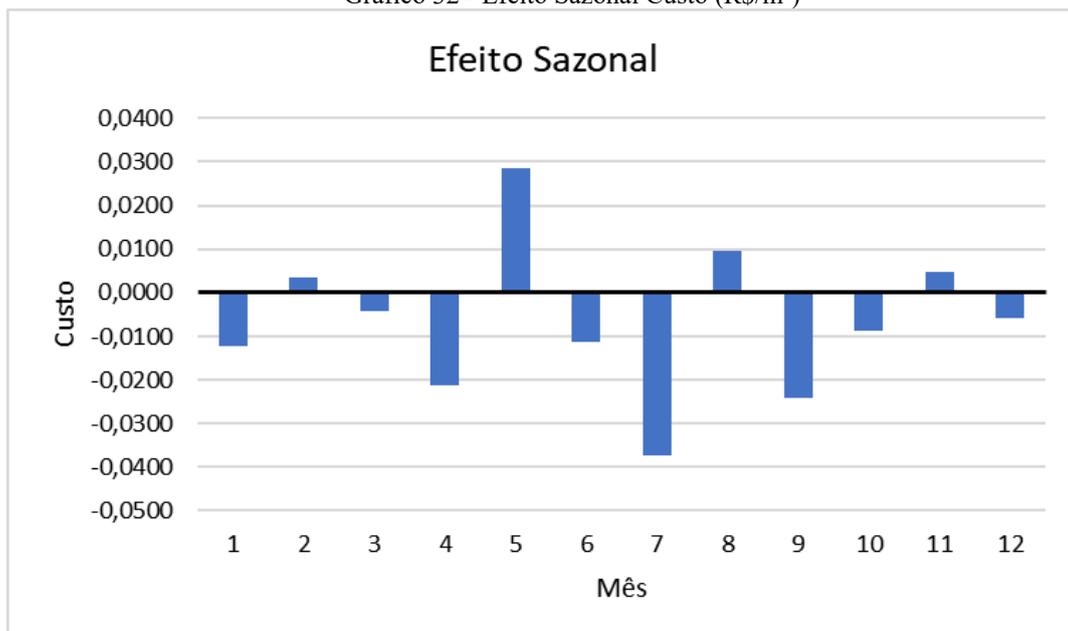
Nos gráficos 31 e 32 são apresentados a tendência, resíduo e sazonalidade do custo de produção de água na ETA Gavião, onde podemos observar uma sazonalidade no custo no mês de maio

Gráfico 31 - Tendência e Resíduo do Custo (R\$/m<sup>3</sup>)



Fonte: O autor (2022)

Gráfico 32 - Efeito Sazonal Custo (R\$/m<sup>3</sup>)



Fonte: O autor (2022)

#### 4.7. Regressão linear dos custos

A Regressão Linear Múltipla foi realizada tendo como variável alvo a tendência custo. Primeiramente foi testado com a tendência da turbidez e cor, e logo em seguida, com a tendência das cianobactérias e fósforo. Com a turbidez e cor, eles foram capazes de explicar em 99% a variação do custo, já com as cianobactérias e o fósforo, eles foram capazes de explicar o custo em 77%. As equações estimadas para explicar o custo em função da turbidez e cor (7) e cianobactérias e fósforo (8) são mostradas abaixo:

$$\text{Custo} = -0,90072 + 0,887585 \text{ Cor}$$

Equação 7

$$\text{Custo} = 2,349068 + 0,294186 \text{ Cianobactérias} + 0,522864 \text{ Fósforo}$$

Equação 8

Tabela 13 - Regressão linear em função da turbidez e cor

<b>R<sup>2</sup></b>	<b>R<sup>2</sup> adj</b>	<b>Estatística F</b>	<b>p</b>
1	1	25294,93	<0,001

Fonte: O autor (2022)

Tabela 14 - Regressão linear do custo em função das cianobactérias e fósforo

<b>R<sup>2</sup></b>	<b>R<sup>2</sup> adj</b>	<b>Estatística F</b>	<b>p</b>
0,52	0,51	39,62	<0,001

Fonte: O autor (2022)

Podemos concluir que a variabilidade da qualidade da água que chega na ETA Gavião sofre uma influência pela mudança do reservatório doador. A precipitação na bacia do açude Gavião, causa um aumento na turbidez na chegada da água a ETA Gavião. Cianobactérias e fósforo, são os responsáveis pela turbidez e cor no açude Gavião. Os custos de produção na ETA Gavião são diretamente influenciados pela turbidez, cor, cianobactérias e fósforo.

As concentrações de fósforo presentes no açude Gavião sugerem que ações antrópicas estão poluindo o manancial. Sendo necessário realizar ações de limpeza nas proximidades dos afluentes na bacia do Gavião para evitar o carreamento de sedimentos para o leito do açude, dar uma destinação final ao efluente da ETE Pacatuba para que ele não alcance o açude, bem como ações junto às comunidades no entorno do Gavião para que se tenha uma conscientização

ambiental maior quanto à importância do cuidado com a destinação correta dos resíduos. Dando um destaque maior na ETE Pacatuba que atende uma população de aproximadamente 73 mil habitantes e possui, aproximadamente, 15 mil ligações de esgoto e vazão média projetada de 13,1 L/s, estando distante, aproximadamente, 4 km do açude Gavião. Por conta disso, essa ETE deve receber uma melhor operação visando o tratamento mais eficaz, a fim de não prejudicar a qualidade do açude Gavião.

Sugere-se como continuidade deste trabalho investigar a origem do fósforo que chega no açude Gavião, identificando sua origem e medidas para mitigar os impactos causados por ele no açude Gavião.

## 5. REFERÊNCIAS

ACHON, C.L BARROSO, M.M.; CORDEIRO, J.S. **Avaliação do uso da água em sistema de tratamento de recurso com proposta de uso de indicadores.** In: Anais do Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 19, Maceió – AL, 2011.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. Resolução nº 24, de 04 de maio de 2020. Estabelece procedimentos acerca das atividades de fiscalização do uso de recursos hídricos e da segurança de barragens objeto de outorga em corpos d'água de domínio da União exercidas pela Agência Nacional de Águas – ANA. Disponível em: [https://arquivos.ana.gov.br/\\_viewpdf/web/?file=/resolucoes/2020/0024-2020\\_Ato\\_Normativo.pdf](https://arquivos.ana.gov.br/_viewpdf/web/?file=/resolucoes/2020/0024-2020_Ato_Normativo.pdf) Acesso em 25 de junho de 2022.

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: informe anual /** Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico.-- Brasília : ANA, 2017. Disponível em: <[https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conj2017\\_rel-1.pdf](https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conj2017_rel-1.pdf)> acesso em 18 de fevereiro de 2022

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). **Portal da qualidade das águas.** Disponível em: < [http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx#\\_ftn8](http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx#_ftn8)>. Acesso em 10 de fevereiro de 2021.

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil)il). **Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil /** Agência Nacional de Águas, Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos. - Brasília: ANA, SPR, 2005. Disponível em: <[http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/PANORAMA\\_DA\\_QUALIDADE\\_DAS\\_AGUAS.pdf](http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/PANORAMA_DA_QUALIDADE_DAS_AGUAS.pdf)> Acesso em 10 de fevereiro de 2022

AGOSTINI, M.; KUKAKOWSKI, M.P.; BREHM, F.A. **A influência da pluviometria na edição de Iodo de estação de tratamento de água em cerâmica vermelha.** In: Anais do Fórum Nacional de Resíduos Sólidos, 5, São Leopoldo – RS, 2014. Disponível em: <http://www.institutoventuri.org.br/ojs/index.php/firs/article/view/596&gt;>;. Acesso em 20 de junho de 2022.

ALVAVÁ, R. C. S. CUNHA, A. P.M. A., BRITO, S. S. B., SELUCHI, M. E., MARENGO, J. A., MORARES, O. L. L., & CARVALHO, M. A. **Drought monitoring in the Brazilian semiarid region.** Anais da Academia Brasileira de Ciências, 91(Suppl. 1), e20170209.<https://doi.org/10.1590/0001-3765201720170209>, 2019.

AMMAR, R.; KAZPARD, V.; EL SAMRANI, A. G.; AMACHA, N.; SAAD, Z.; CHOU, L. **Hydrodynamic influence on reservoir sustainability in semi-arid climate: A physicochemical and environmental isotopic study.** Journal of Environmental Management, v. 197, p. 571-581, 2017.

ANDRADE, C.F.; SILVA, C.M.; OLIVEIRA, F.C. **Gestão ambiental em saneamento: uma revisão das alternativas para tratamento e disposição do Iodo de ETA e seus**

**impactos na qualidade das águas.** In: Anais do Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, v. Belo Horizonte – MG, 2014.

ANDREOLI, C.V.; LEITE, B.Z. **Relação entre o consumo de produtos químicos e a qualidade da água distribuída em diversos sistemas de tratamento de água do Paraná.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 23. Anais : Rio de Janeiro, ABES, 2005.

ANDRIETTI, G.; FREIRE, R.; AMARAL, A.G.; ALMEIDA, F.T.; BONGIOVANI, M.C.; SCHNEIDER, R.M. **Índices de qualidade da água e de estado trófico do rio Caiabi, MT.** Rev. Ambiental. Água, v. 11, n. 1, p. 162-175, 2016. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1769>

ANTONIOU, M. G; CRUZ, A.A; DUINYSUIU, D.D. **Cyanotoxins: New Generation of Water Contaminants.** Journal of Environmental Engineering. V. 131, p. 1239-1243, 2010.

BARCO, O. J., CIAPONI, C. PAPIRI, S. **Quantitative and qualitative analysis of storm water runoff in an urban experimental catchment.** Second World Wide Workshop for Young Environmental Scientist. Paris, France, 2003.

BARROS, N. S.; BARRO, F. F.; BASTOS, F. H. **Paisagens no semiárido cearense: uma breve apresentação dos aspectos naturais.** In: Workshop Internacional Sobre Água no Semiárido Brasileiro, 1, Paraíba. Anais... 2015. Disponível em: [https://www.editorarealize.com.br/editora/anais/wiasb/2015/TRABALHO\\_EV044\\_MD4\\_SA4\\_ID390\\_11092015134430.pdf](https://www.editorarealize.com.br/editora/anais/wiasb/2015/TRABALHO_EV044_MD4_SA4_ID390_11092015134430.pdf) Acesso em 18 de fevereiro de 2022.

BOUVY, M., MOLICA, R., DE OLIVEIRA, S., MARINHO, M., BEKER, B. **Dynamics of a toxic cyanobacterial bloom (*Cylindrospermopsis raciborskii*) in a shallow reservoir in the semi-arid region of northeast Brazil.** Aquatic Microbial Ecology, v. 20, p. 285-297, 1999. <https://doi.org/10.3354/ame020285>

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; MIERZWA, J. C.; BARROS, M. T. L.; SPENCER, M. et al. **Introdução à engenharia ambiental.** São Paulo: Prentice Hall, 2005.

BRASIL, J.; ATTAYDE, J. L.; VASCONCELOS, F. R.; DANTAS, D. F.; HUSZAR, V. L. M. **Drought-induced water-level reduction favors cyanobacteria blooms in tropical shallow lakes.** Hydrobiologia, v. 770, n. 1, p. 145–164, 2016. <https://doi.org/10.1007/s10750-015-2578-5>

BRASIL. **Portaria GM/MS N° 888, de 4 de maio de 2021.** Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS n° 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>> Acesso em: 04.02.2022

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Resolução n° 115, de 23 de novembro de 2017.** Diário Oficial da União. Conselho Deliberativo da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste – SUDENE, 2017. Disponível em: <<http://sudene.gov.br/images/arquivos/semiario/arquivos/resolucao115-23112017-delimitacaodosemiario-DOU.pdf>> Acesso 22 de janeiro de 2022

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. **Política Nacional de Recursos Hídricos**. 2022 Disponível em: < <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/politica-nacional-de-recursos-hidricos>> Acesso em: 07 de fevereiro de 2022.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **O semiárido Brasileiro**. Disponível em: < <https://www.gov.br/mcti/pt-br/rede-mcti/insa/semiariado-brasileiro>> Acesso em: 04 de fevereiro de 2022.

BRASIL. Agência Nacional de Águas. Portal da Qualidade das Águas. **O que é PNQA?** Disponível em: < <http://pnqa.ana.gov.br/pnqa.aspx>> Acesso em: 07 de fevereiro de 2022.

BRASIL (2000). Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. **Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), entidade federal de implementação da Política Nacional e Recursos Hídricos, integrante do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Singreh) e responsável pela instituição de normas de referência para a regulação dos serviços públicos de saneamento básico**. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19984.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19984.htm)> Acesso em 25 de junho de 2022.

BRITES, A. P.; GASTALDINI, M. C. C. **Avaliação da Carga Poluente no Sistema de Drenagem de Duas Bacias Hidrográficas Urbanas**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 12, n. 4, p. 211-221, out/dez, 2007.

BRITO, M. C. L. D. de A., AGUIAR, J. C. de. (2019) A COBRANÇA PELO USO DA ÁGUA COMO INSTRUMENTO DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS. Revista Direito Ambiental e Sociedade, 9(2), 61-90.

CALMON, A. P. S., SOUZA, J. C., DOS REIS, J. A. T., MENDONÇA, A. S. F. **Uso combinado de curvas de permanência de qualidade e modelagem da autodepuração como ferramenta para suporte ao processo de enquadramento de cursos d'água superficiais**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 21, n. 1, p. 118-133, 2016.

CAMPOS, J. N. B. **Paradigms and public policies on drought in Northeast Brazil: a historical perspective**. Environmental Management, 55(5), 1052–1063. <https://doi.org/10.1007/s00267-015-0444-x>, 2015.

CARVALHO, T. M. N.; LIMA NETO, I. E.; Souza Filho, F. A.. **Uncovering the Influence of Hydrological and Climate Variables in Chlorophyll-A Concentration in Tropical Reservoirs with Machine Learning**. Environmental Science and Pollution Research, v. ., p. 1, 2022.

CATELMO, N. F.; FERREIRA, D. F. **Desempenho de Testes de Normalidade Multivariados Avaliado por Simulação Monte Carlo**. Ciências e Agrotecnologia, v. 31, n. 6, p. 1630-1636, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/KWgjCPYHgVxVCStqB8JBHTD/?lang=pt> Acesso em: 01 de setembro de 2022.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, **Proposta de Índices de Qualidade de Água para o Estado de São Paulo**. Coletânea de Textos da Cetesb, 2002.

CHIGOR, V. N., UMOH, V. J., OKUOFY, C. A., AMEH, J. B., IGBINOSA, E. O., OKOH, A. I. **Water quality assessment: surface water sources used for drinking and irrigation in Zaria, Nigeria are public health hazard.** *Environ Monit Assess*, v. 184, p. 3389-3400, 2012.

CLAUBERG, Ana Paula Coelho; HENKES, Jairo Afonso; BECEGATTO, Valter Antonio. **Fontes hídricas: setor energético brasileiro e o incremento das pequenas centrais hidrelétricas.** *Revista Brasileira de Meio Ambiente & Sustentabilidade*, v. 1, n. 4, p. 134-174, 2021.

COETZEE, L.A. **A Trophic State Index for Tropical/subtropical Reservoirs.** *Ecological Engineering*, v. 60, p. 126-1340, 2011.

CORREIA, RC, KIILL LHP, MOURA MSB, CUNHA, TJF, JESUS JUNIOR LA, Araújo JLP (2011). **A região semi-árida brasileira.** In.: **Produção de caprinos e ovinos no Semiárido.** Editor: Voltolini, T. V. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2011.

COVENEY, M. F., LOWE, E. F., BATTOE, L. E., MARZOLF, E. R., CONROW, R. **Response of a eutrophic, shallow subtropical lake to reduced nutrient loading.** *Freshwater Biology*, v. 50, p. 1718-1730, 2005.

COWPERTWAIT, P. S. P.; METCALFE, A. V. **Introductory Time Series with R.** 1st.ed. New York, NY, USA: Springer-Verlag, 2009.

DANTAS, E. W., MOURA, A. N., BITTENCOURT-OLIVEIRA, M. do C. **Cyanobacterial blooms in stratified and destratified eutrophic reservoirs in semi-arid region of Brazil.** *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 83, n. 4, p. 1327-1338, 2011.

DANTAS, A. D. B., DI BERNARDO, L., VOLTAN. P. E. N., KOYAMA, M. H. (2017). **Avaliação da eficiência do cloro gerado a partir de sal nas etapas de pré e pós-cloração da água do rio Piracicaba.** Congresso ABES FENASAN (2017)

DANTAS, JC; SILVA, RM, SANTOS, CAG. **Drought impacts, social organization, and public policies in northeastern Brazil: a case study of the upper Paraíba River basin.** *Rev. Environ Monit Assess.* 2020 Apr 28;192(5):317. doi: 10.1007/s10661-020-8219-0. PMID: 32347386.

DEARMONT, D.; MCCARL, B. A.; TOLMAN, D. A. **Costs of water treatment due to diminished water quality: a case study in Texas.** *Water Resources Research*, [s. l.], v. 34, n. 4, p. 849-853, abr. 1998. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/98WR00213>. Acesso em 04 de dezembro de 2021.

DENNY, D. M. T.; GRANZIERA, M. L. M.; GONÇALVES, A. Fernandes. **Comitês de bacia hidrográfica: Governança e efetividade na gestão de recursos hídricos.** *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, [S.l.], v. 9, n. 4, p. 227 -247, dez. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.19177/rgsa.v9e42020227-247>. Acesso em: 25 de junho de 2022.

DE SOUZA FILHO, Francisco de Assis; CAMPOS, J. N. B.; DE AQUINO, S. H. S. **Gerenciamento de Recursos Hídricos no Semiárido.** Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2013.

DE SOUZA, F. P., & PERTEL, M. (2020). **Complexidades para a Aplicação dos Aspectos Normativos para a Gestão de Recursos Hídricos no Brasil**. *Exatas & Engenharias*, 10(27), 70-82. <https://doi.org/10.25242/885X102720201747>

DI BERNARDO, L.; DI BERNARDO, A.; CENTURIONE FILHO, P.L. **Ensaio de tratabilidade de água e de resíduos gerados em estações de tratamento de água**. São Carlos: Rima, 2003.

D.S. MOURA, I.E. LIMA NETO, A. CLEMENTE, S. OLIVEIRA, C.J. PESTANA, M. APARECIDA DE MELO, J. CAPELO-NETO **Modeling phosphorus exchange between bottom sediment and water in tropical semiarid reservoirs** *Chemosphere*, 246 (2020), 10.1016/j.chemosphere.2019.125686

DUPASA, R.; DELMASC, M.; DORIOZD, J. M.; GARNIERE, J.; MOATARF, F.; GASCUEL-ODOUXA, C. **Assessing the impact of agricultural pressures on N and P loads and eutrophication risk**. *Rev. Ecological Indicators*, v. 48, 2015, p. 396-407, 2015. DOI: 10.1016/j.ecolind.2014.08.007.

EHLERS, R. S. **Análise de séries temporais**. Laboratório de Estatística e Geoinformação. Universidade Federal do Paraná, 2007.

FARIAS, P. J. L., & SANTOS, D. P. F. DOS. (2018). **Escassez hídrica mundial e a natureza jurídica da alocação dos recursos hídricos no Brasil**. *Revista De Direito - Trabalho, Sociedade E Cidadania*, 5(5), 138–171. Disponível em: <<http://revista.iesb.br/revista/index.php/ojsiesb/article/view/59>> Acesso em 23 de junho de 2022

FERNANDES, A. M., CONCEIÇÃO, F. T., SARDINHA, D. S., GODOY, L. H., & MORAES PEDRAZZI, F. J. (2015). **INFLUÊNCIA SAZONAL NO TRANSPORTE ESPECÍFICO DE METAIS TOTAIS E DISSOLVIDOS NAS ÁGUAS FLUVIAIS DA BACIA DO ALTO SOROCABA (SP)**. *Geochimica Brasiliensis*, 29(1), 23. Retrieved from <https://geobrasiliensis.emnuvens.com.br/geobrasiliensis/article/view/410>

FORSTER, D. L.; BARDOS, C. P.; SOUTHGATE, D. D. **Soil erosion and water treatment costs**. *Journal of soil and water*, [s. l.], v. 42, n. 5, p. 349-352, jan. 1987. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/259600240\\_Soil\\_Erosion\\_and\\_Water\\_Treatment\\_Costs](https://www.researchgate.net/publication/259600240_Soil_Erosion_and_Water_Treatment_Costs). Acesso em: 04 de dezembro de 2021.

FORSTER, D. L.; MURRAY, C. **Farming practices & community water treatment costs**. Columbus: Ohio State University, 2001.

FRANÇA, J. M. B. D., SILVA, S. M. O. D., MONTEIRO, C. M. G., PAULINO, W. D., & CAPELO NETO, J. (2022). **Water quality in a cascade reservoir system—a case study in the Brazilian semiarid region**. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 27, 113-123.

FRANCISCO, L.D.E.S.; ARICA, G.M. **Contribution to cost analysis in water treatment using fuzzy linear programming: A model for the supply management in the city of Campos, Rio de Janeiro, Brazil**. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 23, n. 4, p. 655-664, 2018. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522018165697>

FREIRE, Franklin. **A mudança climática e a água na América Latina: como o aquecimento global e a desigual distribuição e o acesso à água podem impactar as Américas do Sul e Central nos próximos anos.** Revista Geografia, São Paulo. Ed. n.º 26, 2009.

FUNASA, Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS** / Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. – Brasília: Funasa, 2014. Disponível em <<http://www.funasa.gov.br/documents/20182/38937/Manual+de+controle+da+qualidade+da+%C3%A1gua+para+t%C3%A9cnicos+que+trabalham+em+ETAS+2014.pdf/85bbdcb-c-8cd2-4157-940b-90b5c5bcfc87>> acesso em 18 de fevereiro

FUNCEME - Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Projeto Estudo da Qualidade das Águas em Reservatórios Superficiais da Bacia Metropolitana.** Relatório Final Volume 1, pg (45-100), 2002. Disponível em <http://www.funceme.br/wp-content/uploads/2019/02/PROJETO-ESTUDO-DA-QUALIDADE-DAS-%C3%81GUAS-EM-RESERVAT%C3%93RIOS-SUPERFICIAIS-DA-BACIA-METROPOLITANA.pdf>. Acesso em 18 de fevereiro de 2022

GANDARA, G, S. **Rios nossos que estão no sertão! São Francisco e Parnaíba.** Revista franco-brasileira de geografia, (23), 2015.

GRANZIERA, Maria Luiza Machado. Direito de águas e meio ambiente. São Paulo: Ícone, 1993.

HELSEL DR, HIRSCH RM. Statistical methods in water resources. Reston, VA: US Geological Survey, 2002. p.1-15

HOLMES, T. P. **The offsite impact of soil erosion on the water treatment industry.** Land economics, [s. l.], v. 64, n. 4, p. 356-366, 1988. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/227638413\\_The\\_Offsite\\_Impact\\_of\\_Soil\\_Erosion\\_on\\_the\\_Water\\_Treatment\\_Industry](https://www.researchgate.net/publication/227638413_The_Offsite_Impact_of_Soil_Erosion_on_the_Water_Treatment_Industry). Acesso em 04 de dezembro de 2021.

IPECE. **Caderno Ceará em números.** 2016 Disponível em:<[http://www2.ipece.ce.gov.br/publicacoes/ceara\\_em\\_numeros/2016/completa/Ceara\\_em\\_Numeros\\_2016.pdf](http://www2.ipece.ce.gov.br/publicacoes/ceara_em_numeros/2016/completa/Ceara_em_Numeros_2016.pdf)> Acesso em 04 de fevereiro de.2022

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo 2010. Brasília, 2010. Disponível em: <<https://mapasinterativos.ibge.gov.br/grade/default>> Acesso em 18 de fevereiro de 2022.

JÄGERMEYR, J., GERTEN, D., SCHAPHOFF, S., HEINKE, J., LUCHT, W., & ROCKSTRÖM, J. (2016). **Integrated crop water management might sustainably halve the global food gap.** Environmental Research Letters, 11(2), 025002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/2/025002>

JONES, I. D., ELLIOTT, J. A. **Modelling the effects of changing retention time on abundance and composition of phytoplankton species in a small lake.** Freshwater Biology, v. 52, p. 988- 997, 2007.

JOURAVLEV, A. **Drinking Water Supply and Sanitation Services on the Threshold of**

the XXI Century. Ver. Recursos Naturais y Infraestructura, série 74. Santiago de Chile: Cepal, 2004.

KATAYAMA, V.T.; MONTES, C.P. FERRAZ, T.H.; MORITA, D.M. **Quantificação da produção de lodo de estações de tratamento de água de ciclo completo: uma análise crítica**. Rev.Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 20, n. 4, p. 559-569, 2015.

KENDALL MG. Rank Correlation Methods. 4ª ed. London: Charles Griffin; 1975.

KOIV, T., NÖGES, T., LAAS, A. **Phosphorus retention as a function of external loading, hydraulic turnover time, area and relative depth in 54 lakes and reservoirs**. Hydrobiologia, v.660, p. 105-115, 2011. <https://doi.org/10.1007/s10750-010-0411-8>

LACERDA, L.D., SANTOS, J.A. MARINS, R.V., DA SILVA, F.A.T.F. **Limnology of the largest multi-use artificial reservoir in NE Brazil: the Castanhão reservoir, Ceará state** An. Acad. Bras. Cienc., 90 (2018), pp. 2073-2096, [10.1590/0001-3765201820180085](https://doi.org/10.1590/0001-3765201820180085)

LATRUBESSE, E. M.; STEVAUX J. C., « **Geomorphology and environmental aspects of the Araguaia fluvial basin, Brazil** » Zeitschrift für Geomorphologie, Berlin, v. 129, Supplementary Issues, p. 109-127, 2002

LIMA, B.P., MAMEDE, G.L., LIMA NETO, I.E. **Monitoring and modeling of water quality in a semiarid watershed** Engenharia Sanitária Ambiental, 23 (1) (2018), pp. 125-135, [10.1590/s1413-41522018167115](https://doi.org/10.1590/s1413-41522018167115)

LIMA NETO, IRAN E.; MEDEIROS, PEDRO H.A. ; COSTA, ALEXANDRE C. ; WIEGAND, MARIO C. ; BARROS, ANTÔNIO RICARDO M. ; BARROS, MÁRIO U.G. . **Assessment of phosphorus loading dynamics in a tropical reservoir with high seasonal water level changes**. SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT, v. 815, p. 152875, 2022.

LIRA, C.C.S., MEDEIROS P.H.A., LIMA NETO I.E. **Modelling the impact of sediment management on the trophic state of a tropical reservoir with high water storage variations** An. Acad. Bras. Cienc., 92 (1) (2020), Article e20181169, [10.1590/0001-3765202020181169](https://doi.org/10.1590/0001-3765202020181169).

LONDE, L. R., NOVO, E. M. L. M. BARBOSA, C., ARAÚJO, C. A. S. **Water residence time affecting phytoplankton blooms: study case in Ibitinga Reservoirs (São Paulo, Brazil) using Landsat/TM images**. Braz. J. Bio., v. 76, n. 3, p. 664-672, 2016.

MACHADO, P. A. L. **Direito ambiental brasileiro**. 12. ed. São Paulo: Malheiros, 2004.

MACHIWAL D, MOHARANA PC, KUMAR S, SRIVASTAVA V, BHANDARI SL. **Exploring Temporal Dynamics of Spatially-Distributed Groundwater Levels by Integrating Time Series Modeling with Geographic Information System**. Geocarto Int. 2019:1-17.

MAO, Y.-Q. et al. **Characterization of haloacetaldehyde and trihalomethane formation potentials during drinking water treatment**. Chemosphere, v. 159, p. 378-384, 2016.

MARENGO, J. A., TORRES, R. R., e ALVEZ, L. M. **Drought in Northeast Brazil past, present, e future**. Rev.Theoretical e Applied Climatology, 129(3-4):1189 1200. 2017.

<https://doi.org/10.1007/s00704-016-1840-8>

MARENGO, J. A. **Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no Semi-árido do Brasil**. *Parcerias estratégicas*, 13(27):149-176, 2010.

MARENGO, J. A., ALVES, L. M., ALVALÁ, R. C. S., CUNHA, A.P., BRITO, S., & MORAES, O. L. L. **Climatic characteristics of the 2010–2016 drought in the semiarid northeast Brazil region**. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 90(2), supl 1. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201720170206>, 2018

MANN, H.B. **Non-parametric tests against trend**. *Econometria*. 1945. v. 13. pr, v. 246, 1945.

MARTIN, A. C.; HENNING, E.; WALTER, O. M. F. C.; KONRATH, A. C. **Análise de séries temporais para previsão da evolução do número de automóveis no município de Joinville**. *Revista ESPACIOS* | Vol. 37 (Nº 06) Año 2016, 2016.

MARQUES, M. da S.; SILVA, AAF; GABRIEL FILHO, LRA; PUTTI, FF.; GÓES, BC **Análise bibliométrica sobre o uso de águas residuais na agricultura**. *Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento*, [S. l.], v. 11, n. 3, pág. e30311326105, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i3.26105. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/26105>. Acesso em: 25 de junho de 2022.

MENDES, C. V. ., FERREIRA FILHO, V. R. S. ., MEIRELES, T. R. N. P. ., GUAJAJARA, N. S. S. ., PINTO, A. DE V. F. ., SANTOS, D. M. ., CARVALHO FILHO, ÁLVARO M. DE ., & LEITE, M. J. DE H. (2022). **Legislação e preservação de recursos hídricos em propriedades privadas no estado do Maranhão**. *Conjecturas*, 22(2), 1754–1760. <https://doi.org/10.53660/CONJ-886-H>

MEDEIROS, L.C.; MATTOS, A.; LÜRLING, M.; BECKER, V. **The effects of extreme events on phytoplankton dynamics in a semi arid man-made lake**. *Rev. Aquatic Ecology*, v. 49, p. 293–307, 2015. <https://doi.org/10.1007/s10452-0159524-5>

MORAIS, João Rafael Gomes de. **Estabelecimentos Rurais Camponeses no Bioma Caatinga de clima semiárido e os: perspectivas e desafios na atualidade**. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, v.7, n.1, p.29-47. 2019. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3457630>

MORETTIN, P.A.; TOLOI, C.M.C. (2006). **Análise de series temporais**. 2ª ed. São Paulo: Egard Blucher.

NUNES, D. (2022). **Aportes para uma história da regulação jurídica da água no Brasil a partir do Código de Águas de 1934**. *Revista De Direito Administrativo*, 281(1), 233–270. <https://doi.org/10.12660/rda.v281.2022.85660>

OLIVEIRA, M.D.; REZENDE, O.L.T.; OLIVEIRA, S.M.A.C.; LIBÂNIO, M. **Nova abordagem do Índice de Qualidade de Água Bruta utilizando a Lógica Fuzzy**. *Rev.Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 19, n. 4, p. 361-372, 2014 <https://doi.org/10.1590/s1413-41522014019000000803>

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **A ONU e a água**. [S. l], 2018. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/mundo-nao-pode-ver-agua-como-garantida-afirma-chefe-da->

onu-aolancar-decada-global-de-acao/. Acesso em 18 de fevereiro de 2022.

PACHECO, C. H. A., DE CEBALLOS, B. S. O., LIMA NETO, I. E. **Uma análise de regressão para determinação do nível de eutrofização de um reservatório do semiárido brasileiro**. Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica, v. 9, n. 2, p. 274-289, 2016.

PORTO, M. F. **Aspectos qualitativos do escoamento superficial em áreas urbanas**. TUCCI, C., E. M; PORTO, Rubem La Laina; BARROS, Mário T. de Barros (Org.). **Drenagem Urbana**. In: Porto Alegre: ABRH e Editora da UFRGS, 2005

PRODANOFF, Jorge Henrique Alves. **Avaliação da poluição difusa gerada por enxurradas em meio urbano**. Tese de doutorado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

RABELO, U. P. ; DIETRICH, J. ; COSTA, A. C. ; SIMSHAUSER, M. N. ; SCHOLZ, F. E. ; NGUYEN, T. V. ; LIMA NETO, I. E. . **Representing a dense network of ponds and reservoirs in a semi-distributed dryland catchment model**. JOURNAL OF HYDROLOGY, v. 127103, p. 127103, 2021.

RABELO, U. P. ; COSTA, A. C. ; DIETRICH, J. ; FALLAH-MEHDIPOUR, E. ; OEL, P. V. ; LIMA NETO, IRAN E. . **Impact of dense networks of reservoirs on streamflows at dryland catchments**. Sustainability JCR, v. 14, p. 14117, 2022.

RAULINO, J.B., SILVEIRA, C.S., LIMA NETO, I.E. **Assessment of climate change impacts on hydrology and water quality of large semiarid reservoirs in Brazil** Hydrol. Sci. J., 66 (8) (2021), [10.1080/02626667.2021.1933491](https://doi.org/10.1080/02626667.2021.1933491)

RAVENA, Nírvia. **A Regulação da Água no Brasil: Quando o Domínio Público era um Pressuposto Inovador** (Paper 208). Papers do NAEA, v. 16, n. 1, 2007. <<http://dx.doi.org/10.18542/papersnaea.v16i1.11443>> Acesso em 25 de junho de 2022

RIBEIRO, M. A. de F. M.; BARBOSA, D. L.; BATISTA, M. L. de C.; ALBUQUERQUE, J. do P. T.; ALMEIDA, M. A.de; RIBEIRO, M. M. R. **Simulação da prioridade de uso das águas superficiais como um critério para o instrumento da outorga**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 19, n. 2, abr./jun. 2014. <<https://doi.org/10.21168/rbrh.v19n2.p135-145>> Acesso 23 de julho de 2022.

ROCHA, M.J.D., LIMA NETO, I.E. **Modeling flow-related phosphorus inputs to tropical semiarid reservoirs** J. Environ. Manag., 295 (2021), Article 113123, [10.1016/j.jenvman.2021.113123](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113123)

ROCHA, M. J. D. ; LIMA NETO, I. E.. **Internal phosphorus loading and its driving factors in the dry period of Brazilian semiarid reservoirs**. JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT, v. 312, p. 114983, 2022.

ROCHA, M. J. D. ; LIMA NETO, I. E.. **Phosphorus mass balance and input load estimation from the wet and dry periods in tropical semiarid reservoirs**. Environmental Science and Pollution Research, p. 1, 2021.

RODRIGUEZ, D. A. et al, **Variabilidade Climática das Vazões em Bacias Brasileiras**.

Centro de Ciência do Sistema Terrestre – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CCST/INPE), Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. (CEMADEN), 2016. Disponível em: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rcliman1/revista/pdf/30anos/Rodriguezetal.pdf>> Acesso 21 de março de 2021.

SANTOS, A. R. R., SANTOS, C. A., SANTOS, A. R. **As relações de poder no Semiárido nordestino**. Revista Ambivalências. ISSN 2318-3888. v. 2, n. 4. p. 151 – 164. Jul – Dez / 2014. Acesso 21 de março de 2021.

SEELEN, L. M. S., FLAIM, G., JENNINGS, E., DAMIS, L. N. de S. **Saving water for the future: Public awareness of water usage and water quality**. Journal of Environmental Management, v. 242, p. 246-257, 2019.

SHARIFINIA, M.; ADELI, B.; NAFARZADEGAN, A. R. **Evaluation of water quality trends in the Maroon River Basin, Iran, from 1990 to 2010 by WQI and multivariate analysis**. Environmental Earth Sciences, v. 76, n. 2., p. 1-13, 2017. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-7132-5>

SHIVAM, G.; GOYAL, M. K.; SARMA, A. K. **Index-based study of future precipitation changes over Subansiri river catchment under changing climate**. J Environ Inform. 2019;34(1):1-14.

SILVA. F. Q. da. **A Gestão dos Recursos Hídricos após a Lei 9.433, de 08.01.1997**. In: FREITAS, Vladimir Passos de (Org.). Direito ambiental em evolução. Curitiba: Juruá, 1998.

SILVA, J. C. A. DA; PORTO, M. F. A. **Recuperação de córregos urbanos através do controle de cargas pontuais e Difusas**. Córrego Ibiraporã, SP. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. v. 20, n. 1, p. 82 – 90, jan./mar., 2015.

SILVA, Lucila; HELENA, Lucas; TEIXEIRA, Margarida Ribau. **Avaliação económica preliminar da nanofiltração na remoção de cianotoxinas em águas naturais**. Trabalho apresentado em 11º Congresso da Água. In Actas do 11º Congresso da Água, Porto, 2012. Trabalho apresentado em 11º Congresso da Água. In Actas do 11º Congresso da Água, Porto, 2012.

SILVA, J. A. **Direito ambiental constitucional**. 2. edição. São Paulo: Malheiros, 1998.

SONG, Y., ZHANG, L. -L., LI, J., CHEN, M., ZHANG, Y. -W. **Mechanism of the influence of hydrodynamics on *Microcystis aeruginosa*, a dominant bloom species in reservoirs**. Science of the Total Environment, v. 636, p. 230-239, 2018.

SOUZA, M. F. L., KJERFVE, B., KNOPPERS, B., LANDIM DE SOUZA, W. F., & DAMASCENO, R. N. **Nutrient budgets and trophic state in a hypersaline coastal lagoon: Lagoa de Araruama, Brazil**. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 57(5-6), 843–858. 2003 doi:10.1016/s0272-7714(02)00415-8

TARGINO, I; MOREIRA, E. **Droughts and state in northeast Brazil**. In: MOREIRA, E

(Org.). *Family farming and desertification*. João Pessoa: Editora Universitária da UFPB., 2006.

TYAGI, S. et al. **Water Quality Assessment in Terms of Water Quality Index**. American Journal of Water Resources, v. 1, n. 3, p. 34-38, 2013. <https://doi.org/10.12691/ajwr-1-3-3>

TOMAZ, Plínio. **Poluição Difusa**. São Paulo: Navegar Editora, 2006.

TRAVASSOS, I. S., SOUZA, B. I., SILVA, A. B. **Secas, Desertificação e Políticas Públicas no Semiárido Nordestino Brasileiro**. Revista OKARA: Geografia em Debate, v. 7, n. 1, p. 147 – 164. 2013. ISSN: 1982 – 3878. João Pessoa, PB. DGEOC/CCEN/UFPB. Disponível em: <http://www.okara.ufpb.br>. Acesso 21 de março de 2021.

TUCCI, C. E. M. **Curso de Gestão das inundações urbanas**. Porto Alegre: UNESCO – Global Water Partnership South America - Asociación mundial del agua, 2005.

VAROL, M.; E ŞEN, B. (2012) **Assessment of nutrient and heavy metal contamination in surface water and sediments of the upper Tigris River, Turkey**. Catena, 92(July), 1–10. doi:10.1016/j. Catena. 2011.11.011.

VON SPERLING, M. **Estudos da modelagem da qualidade da água de rios**. 2 ed. Volume 7. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; UFMG; 2014.

WANG, Y. A.; ZHANG, W. A.; ZHAO, Y. B.; PENG, HONG. C.; YINGYUAN, S. **Modelling water quality and quantity with the influence of inter-basin water diversion projects and cascade reservoirs in the Middle-lower Hanjiang River**. Journal of Hydrology 541 1348–1362, 2016.

WEIRICH, C.A; MILLER, T.R. **Freshwater Harmful Algal Blooms: Toxins and Children’s Health**. *Current Problems in Pediatric and Adolescent Health Care*, v.44, p.2-24, 2014 Doi.: 10.1016/j.cppeds.2013.10.007

WIEGAND, M.C; DO NASCIMENTO, A.T.P.; COSTA, A.C.; LIMA NETO, I.E. **Trophic state changes of semi-arid reservoirs as a function of the hydro-climatic variability**. *Journal of arid environments*, v. 184, p. 104321, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104321>

WIEGAND, M.G.; PIEDRA, J.I.G.; ARAÚJO, J.C. **Vulnerabilidade à eutrofização de dois lagos tropicais de climas úmido (Cuba) e semiárido (Brasil)**. *Rev. Eng. Sanit. Ambient*, v. 21, n. 2, p. 415-424, 2016. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522016139527>

ZAFFANI, A. G. **Poluição difusa da drenagem urbana com base ecohidrológica: Diagnóstico atual e cenários de longo prazo em bacias urbanas em São Carlos, SP**. 2012. 174f. Dissertação (Mestrado em Ciências-Engenharia Hidráulica e Saneamento), Departamento de Engenharia Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.