



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
MODELAGEM EM CIÊNCIAS DA TERRA E DO  
MEIO AMBIENTE**



**USO DO SOLO E QUALIDADE DA ÁGUA EM MICROBACIA URBANA: ESTUDO  
DE CASO BACIA DO RIO DOS CÁGADOS NO ESTUÁRIO DE SERINHAÉM**

**RAFAEL REIS CABRAL**

Orientador(a): **Prof. Dr. Carlos Eduardo Veiga de Carvalho**

Coorientador(a): **Profa. Dra. Taíse Bomfim de Jesus**

Projeto Estruturante: APA do Pratigi

Feira de Santana - BA

**2023**

Rafael Reis Cabral

**USO DO SOLO E QUALIDADE DA ÁGUA EM MICROBACIA URBANA: ESTUDO  
DE CASO BACIA DO RIO DOS CÁGADOS NO ESTUÁRIO DE SERINHAÉM**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente, PPGM, da Universidade Estadual de Feira de Santana como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de mestre em Modelagem Ciências Ambientais.

Orientador: Carlos Eduardo Veiga de Carvalho

Coorientador(a): Profa. Dra. Taíse Bomfim de Jesus

Feira de Santana – BA

2023

Ficha Catalográfica - Biblioteca Central Julieta Carteado - UEFS

C117 Cabral, Rafael Reis

Uso do solo e qualidade da água em microbacia urbana: estudo de caso  
bacia do rio dos cágados no estuário de Serinhaém / Rafael Reis Cabral. –  
2023.

89 f.: il.

Orientador: Carlos Eduardo Veiga de Carvalho.

Coorientador: Taíse Bomfim de Jesus.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Feira de Santana,  
Programa de Pós-graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Meio  
Ambiente, Feira de Santana, 2023.

1. Geoquímica ambiental. 2. Impacto ambiental - estuário.

I. Título. II. Carvalho, Carlos Eduardo Veiga de, orient. III. Jesus, Taíse  
Bomfim de, coorient. IV. Universidade Estadual de Feira de Santana.

CDU 550.4

**Rafael Reis Cabral**

**"USO DO SOLO E QUALIDADE DA ÁGUA EM MICROBACIA  
URBANA: ESTUDO DE CASO BACIA DO RIO DOS CÁGADOS - APA  
PRATIGI, BA"**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente da Universidade Estadual de Feira de Santana.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Veiga de Carvalho.

Linha de Pesquisa: Estudos Ambientais e Geotecnologias.

**Data de aprovação: 01 de março de 2023.**

**BANCA EXAMINADORA:**



---

Prof. Dr. Carlos Eduardo Veiga de Carvalho  
Universidade Estadual de Feira de Santana - UEFS



---

Prof.ª Dr.ª Taise Bomfim de Jesus  
Universidade Estadual de Feira de Santana - UEFS



---

Prof.ª Dr.ª Gisele Mara Hadlich  
Universidade Federal da Bahia - UFBA



---

Prof. Dr. Marcos Sarmet Moreira de Barros Salomão  
Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF

*“Aqueles que contemplam a beleza da terra, encontram reservas de força que irão perdurar enquanto a vida durar. Há algo infinitamente curativo nos refrões repetidos da natureza: a garantia de que o amanhecer vem depois da noite e a primavera depois do inverno.”*

*-Rachel Carson*

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiro lugar agradecer a Deus, por ter permitido que eu tivesse saúde e determinação para enfrentar os obstáculos na realização deste trabalho.

Meus sinceros agradecimentos a:

A UEFS, FAPESB e ao PPGM pelo financiamento e oportunidade de evoluir minha vida acadêmica com apoio da instituição, professores e colegas que ajudaram em todas as etapas deste projeto.

A meus pais, Maria Iolanda de Assis Reis e Amarildo de Jesus Cabral, meus irmãos em especial para Luana Taquary Cabral pelo apoio nas horas mais difíceis que passei durante esse período, e demais familiares que contribuíram com apoio e por terem sempre acreditado em mim.

Agradeço a CAPES e a FAPESB pela oportunidade de completar essa etapa como pesquisador do programa PPGM.

Agradeço aos médicos e equipe de saúde que me tratou no momento mais difícil que já passei na vida, que foi fundamental para a conclusão deste trabalho e seguimento da minha vida.

Um agradecimento a todos aqueles que contribuíram para o trabalho de maneira direta como o Professor Dr. Willian Aguiar, Rosemeire Paiva e minha colega Anna Carolina de Freitas e a turma XIV, que formaram um ótimo ambiente apesar das dificuldades de manter contato durante a pandemia de COVID-19.

A equipe da secretaria de agricultura de Ituberá, em especial ao secretário Ramon Santos que ajudaram com logística e conhecimento para a realização do projeto.

E por fim um agradecimento especial aos meus orientadores Carlos Eduardo Veiga de Carvalho e Taíse Bomfim de Jesus por terem me dado a oportunidade de ingressar na área de geoquímica, e me ajudado tanto pelo acréscimo de conhecimento acadêmico quanto de vida. Obrigado pelas broncas, o apoio no momento difícil que passei e por tudo que aprendi com vocês, não tenho como expressar meus agradecimentos pelo quanto vocês enriqueceram em minha vida.

## RESUMO

O desenvolvimento das cidades, desde o princípio aconteceu de maneira conjunta com o uso da água. As margens dos rios foram os locais onde se iniciou o processo de agricultura e urbanização, devido à proximidade de um recurso tão importante que é a água. Essa ocupação tem gerado alteração da composição física, química e biológica dos corpos aquáticos comprometendo e restringindo os diversos usos da água, além de exigir métodos mais dispendiosos de tratamento e recuperação da qualidade da água. Nesse contexto, o objetivo do trabalho foi verificar os teores de metais e outros parâmetros exigidos pelo CONAMA, na bacia do rio dos cágados, área urbana da APA do Pratigí, Bahia-Brasil, bem como as possíveis origens a partir dos diferentes usos de solo da bacia. Para cumprir este objetivo foi feita a classificação não supervisionada da área utilizando de clusters, estes foram analisados e classificados individualmente. Os parâmetros analisados foram pH, Condutividade Elétrica, Temperatura, O.D., Salinidade, D.B.O., Colif. Total, Colif. Termo., Clorofila-a, Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, P, Pb e Zn, e foi utilizada a resolução CONAMA 357º/05 e CONAMA 454/12, e outros estudos já publicados, como forma de comparativo a condições adequadas de uso, além do método de correlação de Spearman para verificar suas possíveis origens. A amostragem mostrou uma forte presença de Coliformes Termotolerantes, indicando uma contaminação do ambiente pelo lançamento de efluentes, que podem estar causando problemas de saúde à população da região. A relação entre os metais demonstra que estes estão imóveis nos sedimentos, e possuem uma provável origem natural com exceção do Zn, DBO e P, que apresentam uma possível origem antrópica relacionada a lançamentos urbanos e rurais na bacia.

Palavras-chave: Geoquímica ambiental, poluição, geotecnologias, efeitos antrópicos, impactos ambientais.

## ABSTRACT

The development of cities, from the beginning happened in conjunction with the use of water, the banks of rivers were the places where the process of agriculture and urbanization began, due to the proximity of such an important resource that is water. This occupation has generated changes in the physical, chemical and biological composition of water bodies. These changes compromise and restrict the various uses of water, in addition to requiring more expensive methods of treating and recovering water quality. In this context, the objective of this work was to verify the levels of metals and other parameters in the river basin of Cágados, as well as the possible origins from the different land uses in the basin. To fulfill this objective, an unsupervised classification of the area was carried out using clusters, which were analyzed and classified individually. The analyzed parameters were pH, Electrical Conductivity, Temperature, D.O., Salinity, B.O.D, total coliforms, thermotolerant coliforms, Chlorophyll-a, Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, P, Pb and Zn, which were compared with the values determined in CONAMA resolution 357/05 and CONAMA 454/12, and with other studies already published and then used the Spearman correlation method to verify their possible origins. Sampling showed a strong presence of Thermotolerant Coliforms, indicating contamination of the environment by the release of effluents, which may be causing health problems for the population in the region. The relationship between the metals demonstrates that they are immobile in the sediments, and have a probable natural origin with the exception of Zn, BOD and P, which have a possible anthropic origin related to urban and rural releases in the basin.

**Keywords:** Environmental geochemistry, pollution, geotechnologies, anthropic effects, environmental impacts.

## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS .....	4
ABSTRACT .....	6
SUMÁRIO .....	7
LISTA DE FIGURAS .....	10
LISTA DE TABELAS .....	12
LISTA DE QUADROS .....	13
LISTA DE ANEXOS .....	13
1. INTRODUÇÃO .....	14
2. OBJETIVOS .....	16
2.1. OBJETIVO GERAL: .....	16
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS: .....	16
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	17
3.1. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO .....	17
3.2. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E QUALIDADE DA ÁGUA .....	19
3.3. QUALIDADE DA ÁGUA .....	23
3.4. PARÂMETROS ESTUDADOS .....	25
4. MATERIAL E MÉTODO .....	28
4.1. ÁREA DE ESTUDO .....	29
4.2. PLANO DE AMOSTRAGEM .....	33
4.3. PARÂMETROS ANALISADOS .....	38
4.4. ÁREA DE INFLUÊNCIA DAS AMOSTRAS .....	41
4.5. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA BACIA .....	41
4.6. CORRELAÇÃO ENTRE OS PARÂMETROS ANALISADOS E O USO E OCUPAÇÃO DO SOLO .....	43
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	45

5.1.	CARACTERIZAÇÃO DA BACIA.....	45
5.2.	PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA.....	52
5.2.1.	pH.....	52
5.2.2.	Condutividade.....	53
5.2.3.	Temperatura.....	54
5.2.4.	Oxigênio dissolvido.....	56
5.2.5.	Salinidade.....	56
5.2.6.	Demanda Biológica de Oxigênio.....	57
5.2.7.	Clorofila-a.....	59
5.2.8.	Coliformes Totais e Termotolerantes.....	59
5.2.9.	Fósforo.....	61
5.2.10.	Metais.....	62
5.3.	ANÁLISE DOS SEDIMENTOS.....	65
5.3.1.	Alumínio, Ferro e Manganês.....	66
5.3.2.	Metais-Traço.....	68
5.4.	Análise Estatística dos Parâmetros Físico-Químicos.....	73
5.5.	Caracterização de Uso do Solo e dos Parâmetros de Qualidade da água.....	76
6.	CONCLUSÕES.....	78
7.	REFERÊNCIA.....	80
8.	ANEXOS.....	87

## LISTA DE SIGLAS

**Al:** Alumínio

**APA:** Área de Proteção Ambiental

**APP:** Área de Proteção Permanente

**Cd:** Cádmio

**CONAMA:** Conselho Nacional do Meio Ambiente

**Cr:** Cromo

**Cu:** Cobre

**D.B.O.:** Demanda Biológica De Oxigênio

**EMBRAPA:** Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

**Fe:** Ferro

**GEE:** Google Earth Engine

**IBGE:** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

**ICP-OES:** Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry

**IQA:** Índices de Qualidade da Água

**Mn:** Manganês

**Ni:** Níquel

**NPK:** Nitrogênio, Fósforo e Potássio

**NSF:** National Sanitation Foundation

**P:** Fósforo

**Pb:** Chumbo

**RGB:** Red Green and Blue

**UC:** Unidades de Conservação

**Zn:** Zinco

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Distribuições de Probabilidades por Máxima-Verossimilhança.....	18
Figura 2: Sobreposição de Pixels .....	19
Figura 3: Impactos ambientais por diferentes usos do solo.....	21
Figura 4: Vias de Exposição Humana a Metais no Ambiente.....	27
Figura 5: Fluxograma da Metodologia do Estudo.....	28
Figura 6: Área atual da APA do Pratigi, Baixo Sul-Bahia-Brasil .....	29
Figura 7: Microbacia do Rio dos Cágados .....	30
Figura 8: Mapa de Solos Bacia do Rio dos Cágados .....	31
Figura 9: Mapa geológico simplificado da Bacia do Rio dos Cágados.....	32
Figura 10: Estradas vicinais da Bacia do Rio dos Cágados no período chuvoso .....	34
Figura 11: Pontos de coleta na Bacia do Rio dos Cágados .....	35
Figura 12: Perfil Longitudinal da Bacia do Rio dos Cágados.....	35
Figura 13: Grupo de Pontos de Coleta do Dique.....	36
Figura 14: Grupo de Pontos de Coleta da Área Urbana.....	37
Figura 15: Pontos de Coleta de Nascentes .....	37
Figura 16: Sonda Multiparâmetro e Amostras Coletadas .....	38
Figura 17: Classificação Simples por K-Means .....	45
Figura 18: Uso e Ocupação da Bacia do Rio dos Cágados Utilizando Classificação Não Supervisionada .....	47
Figura 19: Área de Influência dos Pontos 1 e 2 .....	49
Figura 20: Área de Influência dos Pontos 3, 4 e 5 .....	50
Figura 21: Área de Influência dos Pontos 6, 7 e 8 .....	51
Figura 22: Valores de pH da Água Analisada na Bacia do Rio dos Cágados.....	52
Figura 23: Valores de Condutividade Elétrica da Água Analisada na Bacia do Rio dos Cágados .....	53

Figura 24: Valores de Condutividade Elétrica da Água Analisada na Bacia do Rio dos Cágados .....	55
Figura 25: Valores de Oxigênio Dissolvido na Água Analisada na Bacia do Rio dos Cágados.....	56
Figura 26: Valores de Salinidade na Água Analisada na Bacia do Rio dos Cágados.....	57
Figura 27: Valores de DBO na Água Analisada da Bacia do Rio dos Cágados .....	58
Figura 28: Lançamento de Esgoto Diretamente na Bacia do Rio dos Cágados .....	58
Figura 29: Valores de Clorofila-a na Água Analisada da Bacia do Rio dos Cágados .....	59
Figura 30: Valores de Coliformes Totais na Água Analisada da Bacia do Rio dos Cágados.....	60
Figura 31: Valores de Coliformes Termotolerantes na Água Analisada da Bacia do Rio dos Cágados	60
Figura 32: Valores de Fósforo na Água Analisada da Bacia do Rio dos Cágados .....	62
Figura 33: Valores de Ferro dissolvido.....	63
Figura 34: Valores de Manganês dissolvido .....	64
Figura 35: Valores de Zinco dissolvido .....	64

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação das águas .....	24
Tabela 2: Culturas Produzidas no Município de Ituberá.....	32
Tabela 3: Pontos de Coleta, Coordenadas Geográficas e Grupo de Amostragem .....	34
Tabela 4: Parâmetros analisados e critérios avaliativos .....	39
Tabela 5: Desempenho do índice de Kappa .....	43
Tabela 6: Classificação de Hopkins .....	43
Tabela 7: Agrupamento das Classes de Uso do Solo .....	47
Tabela 8: Quantificação das Classes de Uso e Ocupação do Solo da Bacia do Rio dos Cágados .....	48
Tabela 9: Matriz de Confusão para a Classificação Não Supervisionada da Bacia do Rio dos Cágados .....	48
Tabela 10: Quantificação de Áreas dos Pontos 1 e 2 .....	50
Tabela 11: Quantificação de Áreas dos Pontos 3, 4 e 5 .....	51
Tabela 12: Quantificação de Áreas dos Pontos 6, 7 e 8 .....	52
Tabela 13: Valores de Referência de Qualidade de Metais em Sedimentos .....	66
Tabela 14: Valores de Alumínio, Manganês e Ferro nos Sedimentos Analisada da Bacia do Rio dos Cágados em mg Kg <sup>-1</sup> .....	67
Tabela 15: Valores de Metais Traço nos Sedimentos Analisada da Bacia do Rio dos Cágados em mg Kg <sup>-1</sup> .....	68
Tabela 16: Relação entre os parâmetros presentes na água.....	73
Tabela 17: Relação entre os parâmetros presentes nos sedimentos .....	75
Tabela 18: Relação entre uso e ocupação do solo e os parâmetros presentes na água.....	76
Tabela 19: Relação entre uso e ocupação do solo e os parâmetros presentes nos sedimentos.....	76

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Técnicas de Classificação de Imagens Digitais.....	18
Quadro 2: Alterações na Qualidade da Água .....	23
Quadro 3: Classes e usos da água.....	24
Quadro 4: Chave de Classificação da Imagem por Fotointerpretação .....	46
Quadro 5: Concentrações médias de metais em semimetais de outras bacias (mg kg <sup>-1</sup> ) .....	65

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1: VALORES DOS PARÂMETROS ANALISADOS PARA ÁGUA .....	87
ANEXO 2: VALORES DOS PARÂMETROS ANALISADOS PARA SEDIMENTOS .....	88
ANEXO 3: CÓDIGO PARA CLASSIFICAÇÃO NÃO SUPERVISIONADA POR K-MÉDIA .....	90

## 1. INTRODUÇÃO

As atividades humanas sobre as bacias hidrográficas não são menos agressivas quanto às feitas no litoral, os rios são utilizados cada vez mais de forma intensiva alterando a capacidade de suporte desse sistema. Segundo Park et. al (2021) as diversas atividades humanas causam danos diretos às águas superficiais, onde as águas residuárias urbanas e industriais contêm níveis elevados de matéria orgânica em suspensão, componentes orgânicos, nutrientes (NPK), além de poluentes como alguns metais-traço, hidrocarbonetos, detergentes, micropoluentes orgânicos, principalmente em localidades onde não existe tratamento adequado de esgoto.

Visando o desenvolvimento sustentável da região do Baixo-Sul da Bahia, e a proteção do estuário de Serinhaém, foi criada a APA do Pratigi. Originalmente contendo os municípios de Ituberá e Nilo Peçanha, posteriormente a área foi expandida para os municípios de Igrapiúna, Piraí do Norte e Ibirapitanga, visando a inclusão das bacias que tem o estuário como seu exutório, essa iniciativa levou em consideração o equilíbrio entre os recursos hídricos, solo, flora, fauna e a população humana, promovendo um corredor ecológico, além da integração da agricultura e ecoturismo na região (COSTA, 2008).

O estuário de Serinhaém é a porção final da APA do Pratigi, que é dividida em três diferentes Ecopolos pela Organização de Conservação de Terras de Baixo Sul da Bahia, OCT, baseado na configuração sócio-espacial e nos diferentes tipos de ambientes que formam a área. O primeiro são as cordilheiras, onde existe uma biodiversidade, clima e vegetação que vai se transformando à medida que passa para os demais ecopolos, nesta região é onde se encontram muitas nascentes, principalmente do Rio Juliana. O Segundo Ecopolo são onde ficam as bacias que deságuam no Rio Serinhaém, valendo destaque a bacia do Rio Juliana e do Rio dos Cágados, esta área tem uma forte presença de Mata Ombrófila, e possui muita produção agrícola, além de ser onde ficam a maior parte das áreas urbanas. Por último temos o Ecopolo do estuário, para onde toda a hidrografia da APA segue, esta região tem influência direta das demais, é rica em restingas, manguezais e muita fauna e flora aquática, que é a base da economia das comunidades desta região (COSTA, 2008).

Dentre as bacias que deságuam no estuário de Serinhaém vale destaque para a Bacia do Rio Juliana, que possui a maior área de drenagem, bem como o maior volume. Um estudo

recente mostrou a concentração de metais-traço na região, embora não havendo indícios de contaminação para a maior parte dos elementos, as concentrações de Cr, Cu e Ni revelaram um potencial contaminação nos sedimentos da bacia (MASCARENHAS et. al, 2019). Sendo o rio dos Cágados uma das bacias que tem sua foz no estuário de Serinhaém, passando pela zona urbana do município de Ituberá, os valores dos metais em água e sedimento acabam sendo importantes para o estudo da dinâmica desses elementos no estuário de Serinhaém.

O uso e ocupação do solo, é uma forma de observar a forma como o espaço é modificado pelo homem. na atual conjuntura da preocupação com questões ambientais, por, torna-se uma importante ferramenta para o monitoramento da paisagem no ponto de vista ecológico e sociocultural.

A mudança de uso da terra é um efeito direto das atividades humanas bem como sua interação com o meio ambiente, mudando de forma estrutural a dinâmica dos ecossistemas, afetando as características do solo e água, ameaçando a biodiversidade, e afetando a capacidade de suporte do ambiente (LOU et al. 2022). Na atual conjuntura da preocupação com questões ambientais, o uso do solo torna-se uma importante ferramenta para o monitoramento da evolução da paisagem no ponto de vista ecológico e sociocultural, garantindo a integridade do ambiente para um melhor planejamento de recursos ambientais (CHAUDHARY et al. 2019).

Dentre as técnicas de mapeamento de uso e ocupação do solo estão as supervisionadas, onde existe uma chave de classificação a partir da qual as classes são geradas através do agrupamento de pixels semelhantes aos pertencentes na chave. Outra técnica muito utilizada é a classificação não supervisionada, utilizando a função K-Means, onde ocorre a minimização da função erro, agrupando de forma automática os pixels mais compatíveis entre sé em clusters, esse método torna-se mais rápido e robusto quanto maior a distribuição de dados e número de clusters (NAVIN & AGILANDEESWARI, 2019).

A partir do que foi mencionado anteriormente, o estudo tem como pergunta norteadora: Nesse contexto, qual a relação entre os diferentes usos do solo da APA do Pratigi e a qualidade da água e sedimentos da Microbacia do Rio dos Cágados?

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GERAL:**

Avaliar as condições ambientais de uma sub-bacia pertencente a APA Pratigi, Bahia-Brasil, através da associação de parâmetros físico-químicos da água e a as condições de uso e ocupação do solo

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Utilização de classificação não-supervisionada para o mapeamento de uso e ocupação do solo da região da bacia do Rio dos Cágados;
- Avaliar as condições ambientais da bacia do Rio dos Cágados.
- Avaliar a qualidade da água ao longo da Bacia do Rio dos Cágados, a partir dos parâmetros físicos, químicos e biológicos em comparação aos padrões estabelecidos na resolução CONAMA Nº 357/2005;
- Analisar os valores de metais-traço nos sedimentos da Bacia do Rio dos Cágados, levando em consideração a portaria CONAMA Nº 454/2012, bem como os valores de outras bacias em levantamento bibliográfico;
- Avaliação de possíveis correlações dos parâmetros analisados entre si e aos usos do solo na bacia.

### **3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

#### **3.1. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO**

A identificação do uso e ocupação do solo vem se tornando fundamental para o estudo do ambiente, principalmente com as mudanças na dinâmica natural que o homem vem causando.

Segundo Cheng, Zhang e Kung (2022), o uso do solo é fundamental para o estudos ligados a ecologia, qualidade da água e saúde humana além de ser fundamental para observar o desequilíbrio causados pelas mudanças antrópicas do ambiente. Para Mello et al (2020), os planejamentos futuros devem ser feitos com base no histórico de uso e ocupação do solo da região, pois assim é possível observar as principais pressões que são causadas ao ambiente, e a forma com que este é impactado.

O uso e cobertura do solo pode ser dito como a forma como o espaço é ocupado pelo homem, bem como a forma como as atividades nele desenvolvidas nesse espaço (IBGE, 2013). A caracterização da superfície da terra é integrada aos fenômenos naturais e antropológicos, sendo assim um possível conceito para uso e ocupação da terra seria dividir esta em regiões relacionadas ao lugar e espaço geográfico, com relação à forma e sua utilização (IBGE, 2013).

Um dos grandes problemas atrelados ao uso e ocupação do solo é o manejo indevido de culturas, a invasão de áreas com fragilidade ambiental como regiões de elevada declividade e margem de rios, causando erosão e carreamento de sedimentos e nutrientes para os corpos hídricos (EMBRAPA, 2017). Os sedimentos provenientes de regiões agricultadas, podem ser fontes de nutrientes e metais, que também podem ser encontrados em lançamentos diretos de esgotamento sanitário, principalmente em áreas urbanas, essa carga que é recebida pelos rios modificam a qualidade da água além de causar processos de eutrofização (PARK et. al 2021).

Para a classificação de uso e ocupação do solo, pode-se utilizar métodos pelos critérios de paramétrica e não paramétrica, espectral e espacial, supervisionada e não supervisionada como mostra Quadro 1 de Meneses & Almeida (2012).

Quadro 1: Técnicas de Classificação de Imagens Digitais

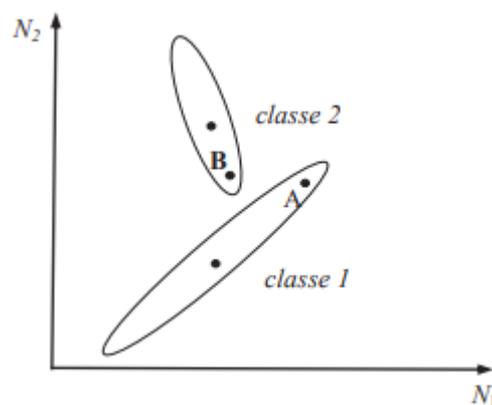
Classificações Temáticas	Supervisionada	- Paralelepípedo
		- Máxima verossimilhança
		- Distância mínima
		- Distância de Mahalanobis
	Não Supervisionada	- Isodata
		- K média (K-Means)

Fonte: Meneses & Almeida (2012) adaptado

Existem duas categorias de classificação de imagens, a supervisionada, que é baseada no conhecimento prévio da área onde as classes de interesse já são fornecidas ao programa, através de padrões espectrais presentes nessa classe. Já a não supervisionada, é feito o agrupamento dos pixels que melhor se agrupam entre si, e então fica a critério do usuário de estabelecer as classes criadas. (IBGE, 2013).

Dentre as técnicas de classificação supervisionada, a Máxima-Verossimilhança é a mais comumente utilizada, utilizando parâmetros estatísticos para ponderar as médias de valores de pixel a partir das classes pré-selecionadas como mostra a Figura 1 (MENESES & ALMEIDA, 2012), onde os valores de  $N_1$  e  $N_2$  representam as diferentes bandas de composição de imagens, e A e B os pixels a serem classificados.

Figura 1: Distribuições de Probabilidades por Máxima-Verossimilhança

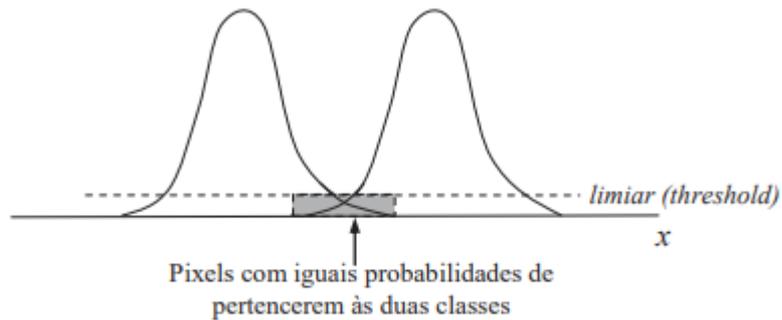


Fonte: Meneses & Almeida (2012)

Embora muito utilizado, esse método tem limitações devido a sobreposição de classes (Figura 2), sendo necessário, para um melhor treinamento, que as classes tenham uma grande

quantidade de pixels, na ordem das centenas, e que haja mais de uma região de treinamento por classe (MENESES & ALMEIDA, 2012).

Figura 2: Sobreposição de Pixels



Fonte: Meneses & Almeida (2012)

Por outro lado, a classificação a mais observada é a K-médias, nesta técnica existe pouca ou nenhuma participação do analista. Após definir o número de agrupamentos o classificador vai agrupar de forma automática os pixels que possuem características mais parecidas, minimizando a variabilidade interna dos agrupamentos, tendo menos problemas quanto a sobreposição de áreas (MENESES & ALMEIDA, 2012).

Para o mapeamento de uso do solo de bacias hidrográficas, o classificador K-média se mostra mais adequado devido a amenizar problemas como a sobreposição de pixels, muito comuns quando feito por máxima-verossimilhança. Sendo um método dinâmico e automático, os pixels acabam sendo melhor alocados quando estes não são predeterminados a uma classe específica, não cabendo ao algoritmo determinar qual o tipo de uso, apenas o conjunto formado (CHENG, ZHANG & KUNG, 2022).

### 3.2. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E QUALIDADE DA ÁGUA

O crescimento da população mundial nas últimas décadas causou um aumento da demanda por desenvolvimento econômico em todo o mundo, causando pressões ao ambiente ligadas à urbanização de áreas, agricultura e indústria (CHENG, ZHANG & KUNG, 2022). A expansão agrícola acaba causando problemas ligados tanto a desmatamentos e queimadas, que alteram a qualidade do ambiente, quanto a diminuição da fertilidade do solo, que necessitam

quantidades excessivas de pesticidas e fertilizantes para manter as taxas de crescimento e rendimento das culturas, levando a um uso mais intensivo do solo, causando efeitos negativos a água e saúde ambiental (CHEN et. al, 2021).

Para melhor gestão da água no país, foi criada a Política Nacional de Recursos Hídricos, este traz a bacia hidrográfica como um conjunto de terras drenadas por um rio principal e seus afluentes, se limitando com outra pelo divisor de águas (BRITO, SILVA & NETO, 2020). Nesse contexto, o uso e ocupação do solo torna-se uma ferramenta fundamental na organização das atividades econômicas e monitoramento da evolução da paisagem para gestão dos recursos ambientais, propiciando um manejo mais eficiente em relação a agricultura, pesca, conservação, recreação, usos domésticos e industriais da água e redução da poluição (BRITO, SILVA & NETO, 2020).

A poluição pode ser classificada em duas diferentes fontes, pontuais e difusas. As fontes pontuais de poluição podem ser entendidas principalmente como águas residuárias, seja de descargas de efluentes domésticos ou industriais. As fontes pontuais ocorrem à medida que os poluentes atingem de maneira concentrada o corpo hídrico, tendo localização definida, e podendo observar o volume e a frequência de lançamento (LIMA et al. 2016).

Por sua vez, as cargas poluidoras não pontuais, ou difusas, chegam aos corpos hídricos de forma intermitente, podendo ser geradas por diversos pequenos lançamentos e áreas extensas. O lançamento intermitente, e a grande área coberta, acabam dificultando a identificação e a fonte da poluição. Geralmente esse tipo de lançamento está associado ao uso e ocupação do solo da região, como fatores florestais, decomposição natural das rochas, agricultura, pastagem e até mesmo a morfologia da bacia pode interferir diretamente nessa poluição (LIMA et al. 2016).

Atualmente, com diversos estudos na área de ecologia e meio ambiente, é possível observar as inúmeras atividades que causam sérios impactos às bacias hidrográficas. Consequências diretas como aumento de nutrientes, hidrocarbonetos, alguns metais-traço como Hg e Pb, componentes orgânicos, assoreamento, sólidos em suspensão, patógenos entre outros, que podem estar ligados a diferentes tipos de uso do solo (CHENG, ZHANG & KUNG, 2022), como visto na Figura 3.

Figura 3: Impactos ambientais por diferentes usos do solo



Fonte: Cheng, Zhang & Kung (2022)

Conforme a Figura 3 temos que as atividades econômicas bem como as áreas urbanas causam um grande impacto negativo ao ambiente aquático, enquanto as áreas naturais não causam prejuízos, apenas os efeitos naturais ao ambiente.

Uma das funções dos sedimentos na gestão de ecossistemas aquáticos é de refletir a história da poluição das bacias, agindo como sumidouros de ambientes aquáticos, podendo ser utilizada para mapear principalmente os poluentes de metais traço no ambiente (YANG et al. 2022). Metais traço são poluentes que trazem efeitos adversos a ecossistemas, devido a sua capacidade de contaminação e a longa permanência no ambiente. Os metais- traço podem ter origem naturais ou antrópicas, geralmente ligadas à combustão de combustíveis fósseis, águas residuais de esgotamento sanitário ou atividades industriais, mineração, agrotóxicos, despejos de resíduos sólidos, entre outros (YANG et al. 2022).

Zhang et al. (2022) salienta que metais-traço em ambientes aquáticos podem sedimentar ou bioacumular na biota através de processos de adsorção ou bioacumulação. Em ambientes naturais a presença desses elementos ocorre nos solos e nas rochas sem mobilidade,

porém a erosão causada por cobertura vegetal, além das demais modificações do ambiente causada de maneira antrópica acabam deixando esses elementos disponíveis no ambiente (ZHANG et al. 2022).

Uma das formas de mensurar os impactos das atividades antrópicas sobre o ambiente, principalmente no que diz respeito aos metais no ambiente são os índices e parâmetros de qualidade do solo, principalmente utilizados para medir o impacto de atividades agrícolas e urbanas nos solos (CHI et al. 2017). No Brasil a resolução Conama nº 420 de 2009 indica valores orientadores para avaliação de solos contaminados, porém, devido a extensão e peculiaridade de diferentes formações geológica e biomas do país, os valores de referência e qualidade do solo são orientados a partir dos valores de background das áreas (ALEXANDRINO et al. 2020).

Segundo Guarda et al. (2021), embora os valores de metais possam estar de acordo com os padrões legais, estes estando acima dos valores de background indicam o comprometimento da área por ações antrópicas. As atividades agrícolas através do processo de erosão e uso de agrotóxicos contaminam o ambiente e aumentam os processos de bioacumulação e biomagnificação nos compartimentos ambientais das áreas afetadas (GUARDA et al. 2021).

Para Milhome et al. (2018) dentre as diversas causas de contaminação do ambiente, a urbana trás uma das que causam maior impacto, o lançamento de resíduos sólidos de maneira inadequada no solo. Um dos principais problemas ambientais do país são lixões, que são locais de lançamento direto no solo de elementos como Cr, Ni, Cu, Pb, Zn, As, Hg e Cd, e devido a disponibilidade de matéria orgânica, estes acabam sendo retidos e chegar aos corpos hídricos através da contaminação dos lençóis freáticos ou do carreamento do solo causando contaminação da água e de seus sedimentos.

No que diz respeito a sedimentos, os rios, principalmente urbanos, tendem a haver um acúmulo de metais devido aos diversos lançamentos de contaminantes que ocorrem ao longo de suas bacias (WOJCIECHOWSKA et al. 2019). Nos ambientes aquáticos um fator importante é a mobilidade destes metais, já que quando não estão imóveis causam problemas aos ecossistemas e às populações que vivem de atividades que utilizam este ambiente. O

crescimento das áreas urbanas causa o enriquecimento de metais na água devido ao lançamento de efluentes, rejeitos sólidos e até do carreamento de resíduos presentes nas vias devido ao lançamento das águas de drenagem nos rios (WOJCIECHOWSKA et al. 2019).

Na APA do Pratigi, na região do Baixo Sul da Bahia, existem estudos que indicam possível contaminação de metais principalmente na região mais próxima da Baía de Camamu, porém o ambiente apresenta pouca influência de atividades antrópicas, surgindo como um local a ser considerado para níveis de base para regiões costeiras (CARNEIRO et al. 2021). Embora o estuário apresente pouca antropização, a maior bacia pertencente ao estuário, o Rio Juliana apresenta indícios de contaminação pontual devido ao uso de defensivo agrícolas, mostrando que mesmo em regiões preservadas, atividades antrópicas causam danos e geram poluentes na água e sedimentos de ambientes aquáticos (MASCARENHAS et al. 2019).

### 3.3. QUALIDADE DA ÁGUA

Qualidade da água não se reduz ao conceito da molécula, mas está atrelada a característica de solvente, bem como a capacidade de transporte e incorporação de partículas. Dessa forma, a qualidade da água é o resultado tanto de fenômenos naturais, quanto da atuação do homem como mostra o Quadro 2 estando ligado diretamente ao uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica (VON SPERLING, 1996).

Quadro 2: Alterações na Qualidade da Água

Condições Naturais	Infiltração no solo pelo escoamento superficial da precipitação atmosférica, incorporação de sólidos em suspensão e dissolvidos oriundos de rochas, ambientes onde a água naturalmente demora de se renovar tende a possuir características estróficas, além da concentração de elementos. Alterações naturais na matéria orgânica e clorofila devido a matas e florestas, entre outras.	
Interferência do Homem	Concentrada:	Resíduos de mineração, Geração de despejos domésticos e industriais.
	Dispersa:	Aplicação de agrotóxicos, efluentes domésticos não tratados, Resíduos urbanos arrastados pela drenagem.

Fonte: Von Sperling (1996) adaptado

Para uma melhor gestão, a Política Nacional de Recursos Hídricos define o enquadramento dos corpos hídricos em diferentes classes, segundo os usos atribuídos a diferentes níveis de qualidade. O instrumento tem como objetivo assegurar a que a qualidade do corpo hídrico seja condizente com as exigências para os determinados usos, reduzindo o custo com tratamento e combatendo a poluição (BRASIL, 1997).

No Brasil, quem define a qualificação dos corpos hídricos e os parâmetros é o CONAMA através da resolução nº 357/05. A resolução, entre outras finalidades, classifica os corpos d'água e suas diretrizes ambientais, enquadrando em diferentes classes cada uma com seus usos preponderantes variando com a necessidade da qualidade da água. As classes são em 13, divididas entre doces, salinas e salobras, essa classificação organiza de modo a priorizar usos como o abastecimento urbano (CONAMA, 2005), como mostra a Tabela 1 e no Quadro 3.

Tabela 1: Classificação das águas

<b>Tipo de água</b>	<b>Classes</b>
Águas Doces	Especial, 1, 2, 3 e 4
Águas Salobras	Especial, 1, 2 e 3
Águas Salinas	Especial, 1, 2 e 3

Fonte: CONAMA nº 357 de 2005 adaptado

Quadro 3: Classes e usos da água

<b>CLASSE</b>	<b>USO DA ÁGUA</b>
Águas doces - Especial	Abastecimento doméstico prévia ou com simples desinfecção; e à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.
Águas doces – I	Abastecimento doméstico após tratamento simples; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário (natação, esqui e mergulho); à irrigação de hortaliças consumidas cruas e de frutas que crescem rentes ao solo e ingeridas sem remoção de película; à criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana
Águas doces – II	Abastecimento doméstico após tratamento convencional; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário; irrigação de hortaliças e frutíferas; à criação natural e/ou intensiva de espécies destinadas à alimentação humana.
Águas doces – III	Consumo humano após tratamento convencional; à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; dessedentação de animais.
Águas doces – VI	Navegação; harmonia paisagística; e aos usos menos exigentes.

Salobras - Especiais	preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral e à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.
Salobras -I	proteção das comunidades aquáticas, aquíicultura e à atividade de pesca, abastecimento para consumo humano após tratamento convencional ou avançado e à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película, e à irrigação de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto
Salobras -II	pesca amadora e recreação de contato secundário
Salobras - III	Navegação e harmonia paisagística

Fonte: CONAMA nº 357 de 2005 adaptado

Para facilitar as tomadas de decisão, de forma a expandir o conhecimento da qualidade da água dos corpos hídricos disponíveis, tornou-se comum a utilização dos Índices de Qualidade da Água, IQA. Na década de 1970, os IQA foram desenvolvidos para facilitar a tomada e interpretação de dados de qualidade dos mananciais superficiais, tomando o lugar da interpretação gráfica de dados geoquímicos levando em consideração parâmetros como oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes, potencial hidrogeniônico, demanda bioquímica de oxigênio, temperatura da água, nitrogênio total, fósforo total e turbidez (ALMEIDA, 2021).

### 3.4. PARÂMETROS ESTUDADOS

Levando em consideração o IQA, temos que para a caracterização da qualidade da água dos corpos hídricos, os parâmetros mais frequentemente utilizados são OD, Temperatura, Coliformes Termotolerantes, pH, DBO, Fósforo. Segundo Carneiro (2021) o estuário de Serinhaém, a jusante da bacia, possui concentrações altas de Fe, Mn e Al nos sedimentos, e estes elementos estão associados a presença de metais-traço em suas amostras.

- Oxigênio dissolvido: É um parâmetro fundamental para manutenção da vida de organismos aeróbios, além de ser o principal combustível para as bactérias degradarem a matéria orgânica, sendo um fator limitante para o processo de autodepuração dos corpos hídricos. Em casos onde todo o oxigênio é consumido, o ambiente entra em condição

anaeróbia causando a morte por asfixia dos seres presentes, além do aumento de bactérias anaeróbias e facultativas, e acúmulo de algas e macrófitas.

Segundo o CONAMA 357/05 para águas superficiais de classe 2, o OD deve estar presente em concentração superior a 5,0 mg/l

- Temperatura: Compreende a intensidade de calor do corpo hídrico, de forma natural, este parâmetro está ligado a relações de troca entre a atmosfera e o solo, sendo influenciada diretamente por fatores climáticos. Algumas intervenções antrópicas que podem afetar são estações de resfriamento e despejos industriais. A temperatura influencia as reações químicas e biológicas, podendo alterar a taxa de reprodução de espécies microbiológicas, além de interferir na solubilidade de gases na água, como o Oxigênio Dissolvido (VON SPERLING, 1996).

- Coliformes Termotolerantes: Este indicador está ligado a presença de bactérias presentes no esgoto doméstico, sendo um marcador de fezes no ambiente, por terem um ciclo de vida ligado ao intestino de animais de sangue quente. Os coliformes termotolerantes podem estar ligados a doenças de veiculação hídrica, a *Escherichia coli* causadora de infecções intestinais que podem levar à morte, principalmente populações vulneráveis como crianças e idosos, é um dos principais componentes desse grupo (VON SPERLING, 1996). Segundo o CONAMA 357/05 para águas superficiais de classe 2, o número máximo de indivíduos que devem estar presentes no ambiente é de 1000 NMP/100ml.

- pH: O potencial hidrogeniônico corresponde a concentração dos íons de hidrogênio  $H^+$  presentes, sendo um parâmetro de acidez da água. Os íons podem estar relacionados a fatores naturais como dissolução de rochas, condições atmosféricas e oxidação da matéria orgânica. Por outro lado, alterações antrópicas como lançamento de esgotos domésticos e industriais são diretamente responsáveis por alterações nesse parâmetro (VON SPERLING, 1996). O pH está diretamente ligado a solubilidade e mobilidade de elementos causadores de danos ao ambiente como os metais traço, onde em condições alcalinas e neutras, estes tendem a ficar ligados a argilas com base em Al, Mn e Fe (SOLOMONS & FÖRSTNER, 1984).

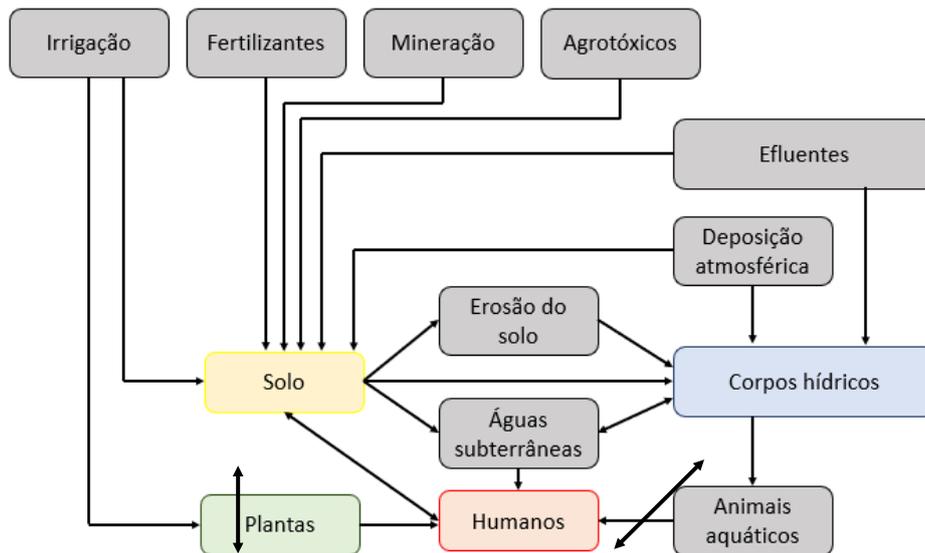
O pH é fundamental para o estudo de metais uma vez que este interfere diretamente na solubilidade e mobilidade destes elementos (MESSIAS et al. 2007). Segundo o CONAMA 357/05, a faixa de pH deve estar entre 6,0 e 9,0 para águas superficiais de classe 2.

-Metais: os metais são elementos químicos conhecidos por características como brilho, resistência, condutibilidade tanto elétrica quanto térmica. No ambiente a origem natural dos metais é o solo, já que a maior parte das rochas possui estes elementos em sua formação. Assim, os metais presentes nos corpos hídricos são oriundos do processo de intemperismo mineral e lixiviação do solo (MARTINS, et al. 2011).

O processo de intemperismo das rochas resulta em minerais primários e secundários, além de liberar íons ao ambiente. A água através das reações de dissolução, hidratação, redução, oxidação e hidrólise é fundamental para a liberação desses íons através das rochas. Sendo assim, os diferentes tipos de reações, bem como tipos e origem das rochas, com uma grande variedade de elementos, representam uma grande gama de metais possíveis de serem encontrados naturalmente em ambientes aquáticos (MARTINS, et al. 2011). A

Figura 4 apresenta as vias que expõem os metais ao ambiente.

Figura 4: Vias de Exposição Humana a Metais no Ambiente



Fonte: Martins, et al.. 2011, adaptado

Embora haja presença de metais naturalmente em corpos hídricos, o constante impacto causado pelo homem tornou-se um fator importante de estudo da concentração destes

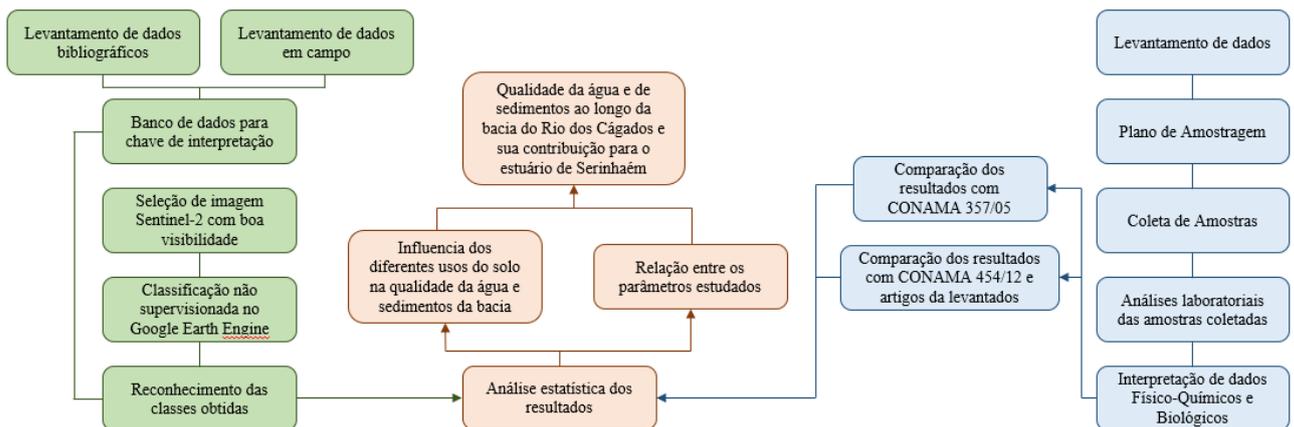
elementos no ambiente. Atividades humanas como indústria, mineração e agricultura surgem como um fator importante no aumento das concentrações de metais em corpos hídricos. As atividades agrícolas, fundamentais para economia brasileira, levam destaque devido ao uso de fertilizantes e agrotóxicos que possuem metais em sua composição, como Pb, Al, Cd, Cu, Fe, Zn, Ni, Mn e Cr. O uso indiscriminado desses produtos acaba gerando problemas ambientais, já que no processo de irrigação acaba infiltrando e atingindo os lençóis freáticos e durante a chuva estes elementos são levados aos corpos hídricos (MARTINS, BRAIT, SANTOS, 2017).

#### 4. MATERIAL E MÉTODO

Com finalidade de alcançar os objetivos propostos, o presente estudo deverá desenvolver a metodologia descrita no fluxograma apresentado na

Figura 5.

Figura 5: Fluxograma da Metodologia do Estudo



Fonte: o Autor

Como visto na

Figura 5 o trabalho pode ser dividido em 3 etapas, a primeira representada na cor azul, em que foi feito o levantamento de dados, coleta e análise de água e sedimentos na bacia

do Rio Serinhaém. Em verde temos a etapa de sensoriamento remoto do trabalho, onde a partir de imagens Sentinel-2 utilizando o Google Earth Engine pela técnica de K-means foi feita a classificação não supervisionada para os usos de solo da bacia.

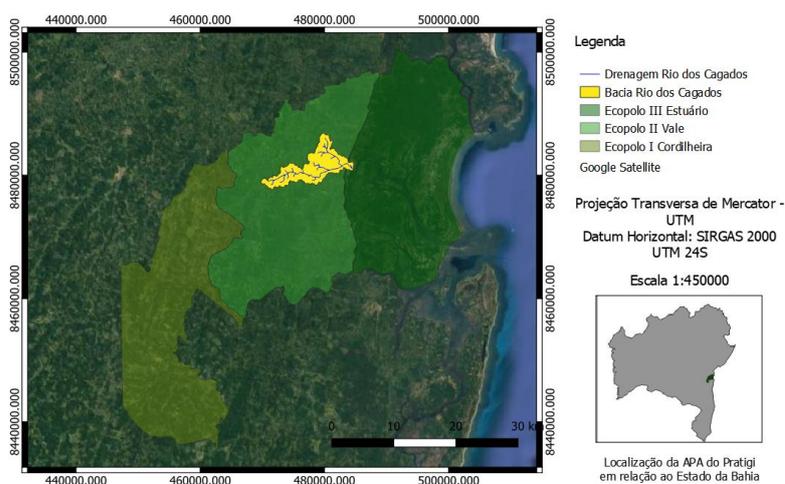
Por fim, representada pelo fluxo e rosa temos a análise estatística, onde foram utilizados os dados dos fluxos anteriores para gerar o produto final da pesquisa. A análise estatística que permite observar as possíveis associações e origens que estão relacionadas aos valores de qualidade da água e sedimentos na bacia do Rio dos Cágados.

#### 4.1. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se na Bacia hidrográfica do Rio dos Cágados, na zona rural do Baixo Sul da Bahia. Pertencente apenas ao município de Ituberá, essa bacia faz parte do estuário de Serinhaém, na APA do Pratigi.

O bioma encontrado na região é a Mata Atlântica na maior parte preservada. O estuário do Serinhaém foi o local original de implantação da área de proteção, vindo a ser ampliado para outras regiões, para abranger todas as bacias que deságuam no estuário como visto na Figura 6. As regiões para onde a APA foi expandida dividiram a mesma em 3 Ecopolos, o Estuário, Vale e Cordilheira.

Figura 6: Área atual da APA do Pratigi, Baixo Sul-Bahia-Brasil

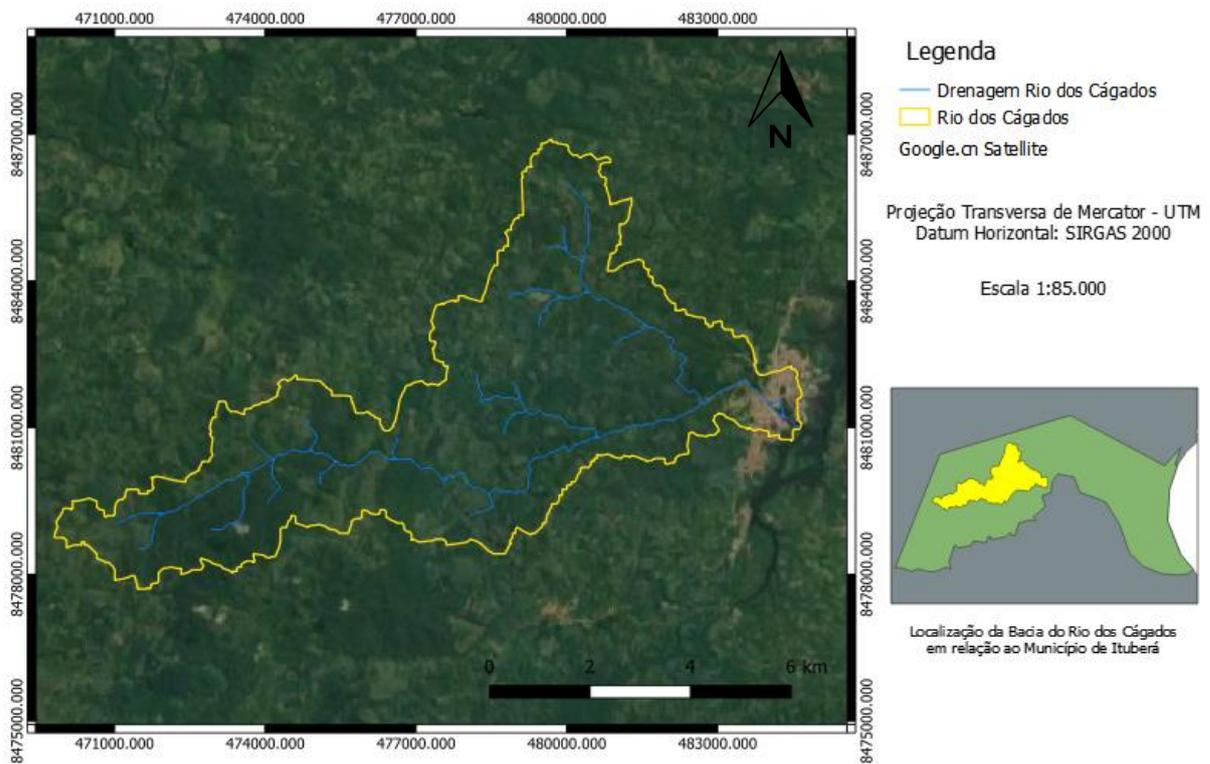


Fonte: o Autor

Contida na RPGA do Recôncavo Sul, a APA do Pratigi possui diversas bacias, sendo as principais a do Rio Juliana e Oricó. Também existe a presença de diversas microbacias, valendo destaque a do Rio dos Cágados que corta a zona urbana do município de Ituberá e deságua no estuário de Serinhaém.

Para a obtenção da área de Estudo, foi feita a delimitação da bacia seguindo a metodologia utilizada por Santos (2019) para a mesma bacia. Foi utilizado imagem do Modelo Digital de Elevação a partir do banco de dados Alaska, este com resolução espacial de 12,5m, então aplicado os algoritmos “r.watershed” e “r.wateroutlet” do plug-in Grass na plataforma QGis, utilizando o tamanho exterior mínimo de 300m para uma melhor qualidade de delimitação, assim obtendo a Bacia vista na Figura 7.

Figura 7: Microbacia do Rio dos Cágados

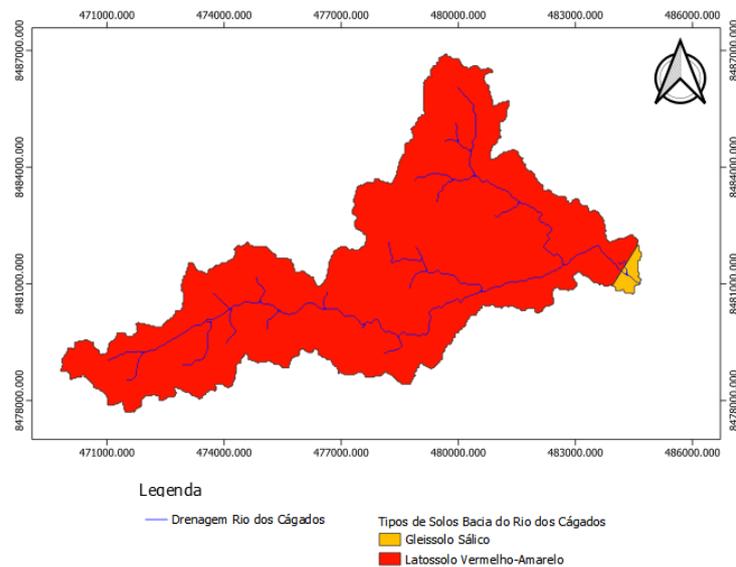


Fonte: o Autor

A partir do modelo da bacia gerada, utilizando a calculadora de atributos. Temos que a bacia do Rio dos Cágados possui uma área de 4846,35 ha, com um total de 41,26 km de canais de drenagem, e um desnível de 214m, entre a região mais alta e mais baixa da bacia, que nasce e tem sua foz no município de Ituberá.

Segundo a base de dados da EMBRAPA (2011), que mapeia os solos do Brasil em uma escala de 1:5.000.000, a região tem predominância de Latossolos Argiloso Vermelho Amarelo como mostra a Figura 8. Este solo apresenta um baixo valor de erodibilidade, e são muito utilizados na agricultura embora seja pobre em elementos importantes como fósforo. Outro solo que aparece apenas na porção próxima ao exutório da bacia é o Gleissolo Sílico, devido à proximidade com o mar.

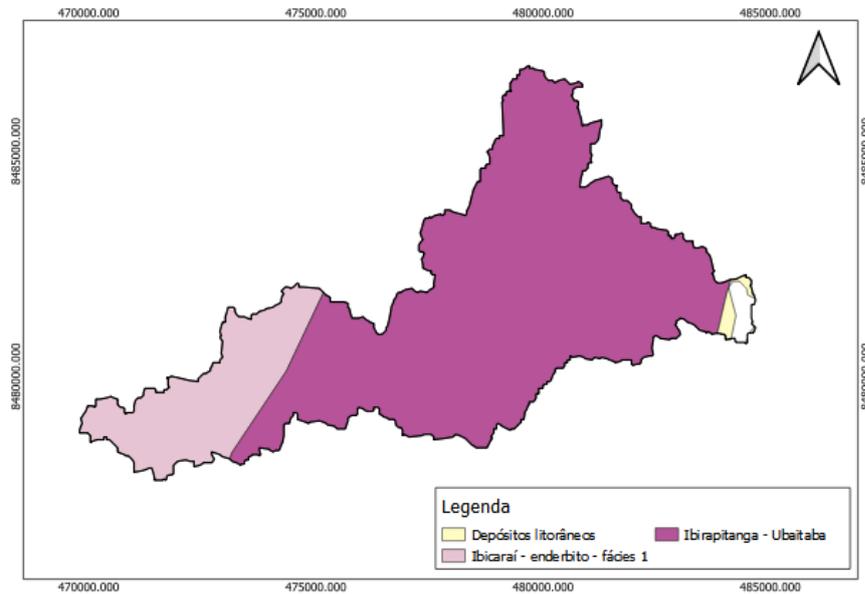
Figura 8: Mapa de Solos Bacia do Rio dos Cágados



Fonte: o Autor

A maior parte do território da bacia está na unidade geológica do complexo Ibirapitanga-Ubaitaba, formada por rochas ígneas e metamórficas datadas do Paleoproterozóico, como o monzonito, quartzomonzonito, sienito, monzodiorito e gabronorito granulítico. Outros complexos presentes na bacia são o Ibicaraí, na porção mais próxima ao início da bacia, e os depósitos litorâneos na região do exutório como visto na Figura 9.

Figura 9: Mapa geológico simplificado da Bacia do Rio dos Cágados.



Fonte: o Autor

Com relação ao município, a média de pluviosidade anual é de 2.095 mm, com chuvas presentes durante todo o ano. O período seco da região vai de setembro a dezembro, sendo setembro a menor média histórica com 113 mm, por outro lado, o período chuvoso vai de março a julho, sendo abril o mês historicamente mais chuvoso com uma média de 213mm. O clima segundo a classificação de Köppen-Geiger é o “Af” - tropical úmido/equatorial, com temperatura média de 24,6°C (SANTOS,2019).

A economia do município é formada principalmente pelo turismo, setores de serviço e produção agrícola, sendo este último um destaque já que é a fonte de renda da maior parte dos moradores da zona rural. Dentre as culturas presentes no município destacam-se a banana, borracha, cacau, coco, dendê e guaraná, a área plantada e quantidades produzidas estão presentes na Tabela 2, segundo dados do censo agropecuário de 2019.

Tabela 2: Culturas Produzidas no Município de Ituberá

Cultura	Área produzida (ha)	Quantidade produzida (T/ano)
Banana (cacho)	200	1.000
Guaraná (semente)	1.200	420
Coco-da-baía	1.500	6.150

Dendê (cacho de coco)	1.700	4.760
Borracha (látex coagulado)	3.000	3.900
Cacau (em amêndoa)	4.650	1.533

Fonte: IBGE, 2019

A maior parte da produção da região é composta de agricultura familiar, em pequenas propriedades, com práticas próximas ao modelo agroecológico, tendo presença de movimentos de reforma agrária como o Sem Terra. Embora as técnicas aplicadas na região tenham um caráter sustentável, esta carece de apoio técnico, sofrendo de problemas como o uso indiscriminado de agrotóxicos, dependência de insumos como fertilizantes, deficiência na regularização fundiária, entre outros problemas que atingem as comunidades rurais (EPIFANIA et al. 2021)

Segundo os técnicos da Secretaria de Agricultura de Ituberá, alguns agrotóxicos são utilizados pelas populações rurais em suas terras, variando com a cultura presente, onde o único que sobrepõe a todas é o Roundup (Glifosato), com exceção das hortas. Os demais agrotóxicos utilizados são o Decis, Derosal, Manzate, Dithane, Ridomil Gold e Tenaz, que em sua maioria são defensivos para lidar com os fungos presentes nas culturas. É comum a utilização de adubo orgânico na região, embora haja uma forte presença na utilização de fertilizantes à base de Nitrogênio, Fósforo e Potássio (NPK).

#### 4.2. PLANO DE AMOSTRAGEM

O estudo foi feito na parte baixa da bacia do Rio dos Cágados, devido a impossibilidade de acesso a parte alta da bacia durante o período chuvoso, em junho de 2021, único período onde foram feitas as coletas na região devido a pandemia de COVID19 que decretou redução das atividades no município. Durante o período chuvoso as estradas vicinais da região ficam indisponíveis devido a periculosidade das vias Figura 10. O plano de amostragem para coleta de água e sedimentos completo pode ser visto na Tabela 3, e na

Figura 11 e Figura 12: Perfil Longitudinal da Bacia do Rio dos Cágados o perfil longitudinal, seguindo a trajetória da bacia e os devidos grupos.

Figura 10: Estradas vicinais da Bacia do Rio dos Cágados no período chuvoso



Estrada de acesso a parte alta da bacia

Estrada vicinais para a parte média

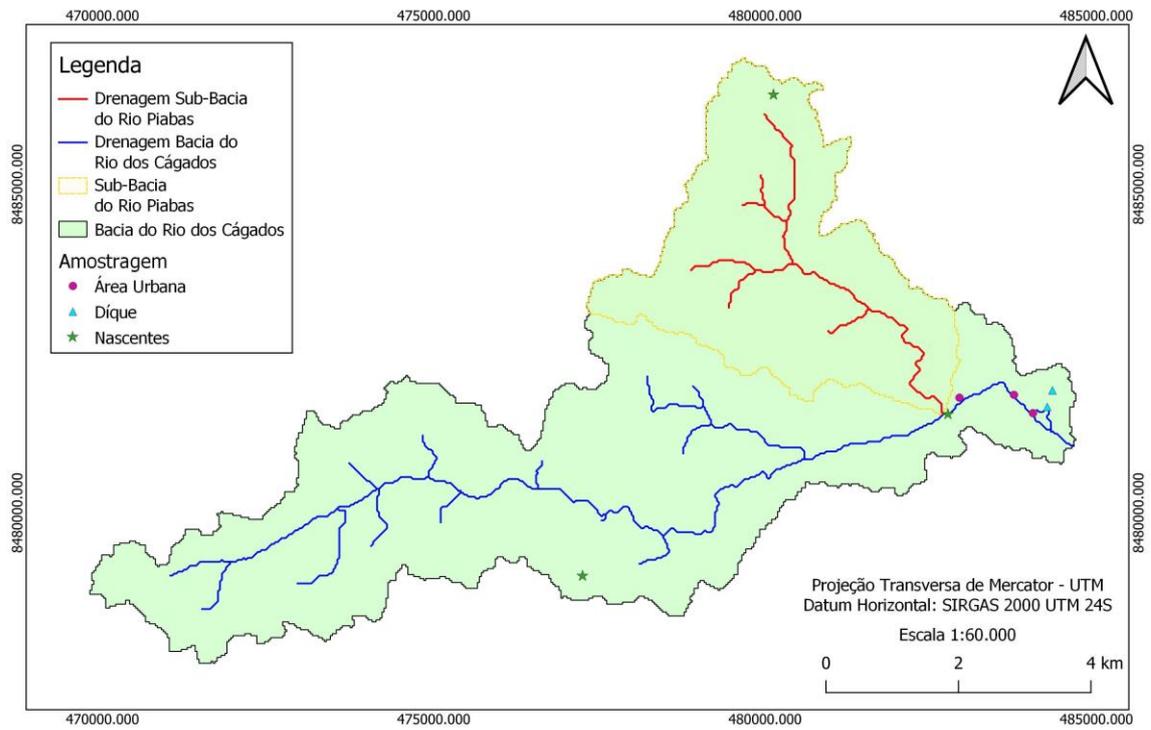
Fonte: o Autor

Tabela 3: Pontos de Coleta, Coordenadas Geográficas e Grupo de Amostragem

Ponto de Coleta	Coordenadas		Grupo de Amostragem
	X	Y	
P1	484336,230	8481863,420	Dique
P2	484257,470	8481611,760	
P3	484042,210	8481517,390	Área urbana
P4	483756,110	8481795,530	
P5	482933,570	8481752,540	
P6	482759,740	8481500,270	Nascentes
P7	480126,380	8486364,880	
P8	477244,300	8479039,770	

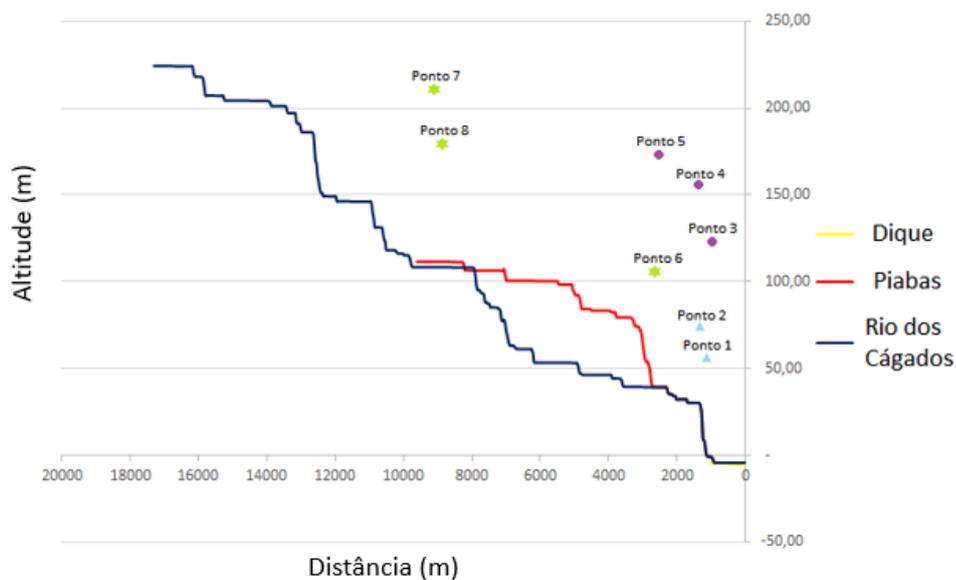
Fonte: o Autor

Figura 11: Pontos de coleta na Bacia do Rio dos Cágados



Fonte: o Autor

Figura 12: Perfil Longitudinal da Bacia do Rio dos Cágados



Fonte: o Autor

As coletas de água e sedimentos foram feitas em 8 pontos ao longo da bacia, estes definidos em 3 grupos, o primeiro na entrada e saída de água do dique onde os cursos de rio foram ligados aos sistemas de drenagem do município, assim como esgotamento sanitário da área urbana, e as nascentes se tornaram chafariz urbanos. O dique em questão sofre muita influência da maré, principalmente durante o período alto da mesma, segue na Figura 13 os pontos coletados.

Figura 13: Grupo de Pontos de Coleta do Dique



Saída da Drenagem do Dique

(Ponto 1)



Ponto de Lançamento da Saída do Dique

(Ponto 2)

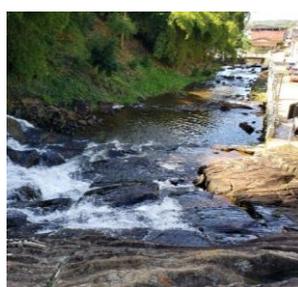
Fonte: o Autor

O segundo grupo de coleta foram feitas na área urbana do município, onde desce a maior parte do volume de água, o primeiro ponto é na transição entre área rural e urbana do município, o segundo é na cachoeira que passa pelo centro, e o último na saída da maré, como visto na Figura 14.

Figura 14: Grupo de Pontos de Coleta da Área Urbana



Encontro com a maré  
(Ponto 3)



Cachoeira (centro)  
(Ponto 4)



Área de transição  
(Ponto 5)

Fonte: o Autor

O terceiro grupo de coletas foi distribuído nas nascentes da bacia, sendo o primeiro na região de transição entre as áreas urbana e rural do município no Bairro do Luíz. O segundo na fazenda de Zeca Moraes próximo a comunidade do Km 5, em meio a uma plantação de Cacau, por onde passam outras 2 nascentes. Por último, foi feita no afluente norte da bacia do Rio dos Cágados, conhecido como Rio Piabas, no meio da Mata do Taquari próximo a comunidade quilombola de Lagoa Santa, em um local preservado em que a água brota do fundo do vale. O terceiro grupo de pontos de amostragem pode ser visto na Figura 15.

Figura 15: Pontos de Coleta de Nascentes



Nascente urbana  
(Ponto 6)



Nascente Fazenda Zeca Moraes  
(Ponto 7)



Nascente Mata do Taquari  
(Ponto 8)

Fonte: o Autor

#### 4.3. PARÂMETROS ANALISADOS

Para a análise dos valores de metais na água e nos sedimentos da bacia nos 8 pontos amostrais da Bacia do Rio dos Cágados, Ituberá-BA, foram analisados parâmetros físicos, químicos e biológicos, estes comparados com os valores de estabelecidos pela legislação CONAMA N° 357/05 para água e CONAMA N° 420/09 para os sedimentos.

As coletas foram feitas em junho de 2021, inicialmente nos pontos 1 a 6, com os parâmetros pH, Temperatura, Condutividade Elétrica, Oxigênio Dissolvido (O.D.) e Salinidade obtidos em campo através de uma sonda multiparâmetro de qualidade da água (Figura 16). Foi feita a coleta de material em um recipiente de vidro e este foi enviado ao laboratório para análise de DBO, Coliformes Totais e Termotolerantes dos pontos. Por último foi feita a coleta de água nos recipientes adequados para análise de metais, garrafa de vidro e clorofila em um recipiente vedado de luminosidade. As coletas de sedimentos foram feitas no leito dos corpos hídricos e então armazenado em sacos plásticos etiquetados (Figura 16), então as amostras foram armazenadas em ambiente refrigerado até as análises.

Figura 16: Sonda Multiparâmetro e Amostras Coletadas



Sonda Multiparâmetro



Amostras Coletadas

Fonte: o Autor

As amostras das nascentes dos pontos 7 e 8 foram feitas na semana posterior, seguindo os mesmos padrões, quando houve a possibilidade de acesso às áreas, não sendo possível realizar as análises de campo, apenas as laboratoriais. A Tabela 4 mostra os parâmetros e métodos de ensaio das amostras.

Tabela 4: Parâmetros analisados e critérios avaliativos

Parâmetro	Método	CONAMA 357/05	CONAMA 454/12
pH	Sondagem por sonda Multiparâmetro	6 a 9	Não se aplica
Condutividade $\mu\text{s}/\text{cm}$	Sondagem por sonda Multiparâmetro	Não se aplica	Não se aplica
Temperatura	Sondagem por sonda Multiparâmetro	Não se aplica	Não se aplica
O.D.	Sondagem por sonda Multiparâmetro	>5 mg/L O <sub>2</sub>	Não se aplica
Salinidade	Sondagem por sonda Multiparâmetro	Não se aplica	Não se aplica
D.B.O.	Método Respirométrico Simplificado	<5 mg/L O <sub>2</sub>	Não se aplica
Colif. Total	Métodos substrato cromogênio enzimático Colilert	Não se aplica	Não se aplica
Colif. Termo.	Métodos substrato cromogênio enzimático Colilert	1.000 NMP/ 100ml	Não se aplica
Clorofila-a	Método Espectrofotométrico	< 30 $\mu\text{g}/\text{L}$	Não se aplica
Alumínio	ICP-OES	0,1 mg/L	Não se aplica
Cádmio	ICP-OES	0,005 mg/L Cd	0,6 mg.kg <sup>-1</sup>
Cromo	ICP-OES	0,05 mg/L Cr	37,3 mg.kg <sup>-1</sup>
Cobre	ICP-OES	0,005 mg/L Cu	35,7 mg.kg <sup>-1</sup>

Ferro	ICP-OES	0,3 mg/L Fe	Não se aplica
Manganês	ICP-OES	0,1 mg/L Mn	Não se aplica
Níquel	ICP-OES	0,025 mg/L Ni	18,8 mg.kg-1
Fósforo	ICP-OES	0,124 mg/L P	Não se aplica
Chumbo	ICP-OES	0,01 mg/L Pb	35,0 mg.kg-1
Zinco	ICP-OES	0,09 mg/L Zn	123,0 mg.kg-1

Fonte: CONAMA 357/05 e CONAMA 454/12

No laboratório as amostras foram devidamente tratadas, onde os sedimentos foram secos em estufa por 24h a 60°C. Foi feita a separada a fração de 63 µm através de peneiras para os ensaios de concentrações de metais, utilizando mistura ácida na proporção 3:1 de ácido clorídrico (HCl) e ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>), pelo método ICP-OES.

Para o estudo da água coletada na Bacia do Rio dos Cágados, as análises foram realizadas em campo através de uma Sonda Multiparâmetro, com exceção da DBO, coliformes totais e termotolerantes, e Clorofila-a, feitos no Laboratório de Geoquímica e Catálise Ambiental da Universidade Estadual de Feira de Santana e os valores de Fósforo, realizados no LEPETRO utilizando o equipamento ICP-OES com sedimentos de referência (STSD-1). Os valores que vão do Ponto 1 ao 6 foram feitos na primeira etapa da campanha de coleta, onde devido à forte chuva não foi possível realizar para as nascentes dos pontos 7 e 8, feitas posteriormente.

Após as análises os resultados foram inseridos no software livre de estatística JAMOVI (Versão sólida 2.2.5), este compondo uma base de dados para comparar com os parâmetros das legislações CONAMA N° 357/05 e CONAMA N° 454/12, além de uma revisão bibliográfica de parâmetros para sedimentos, uma vez que a legislação CONAMA é aplicada para a dragagem, não para a qualidade de sedimentos. A base de dados inserida no JAMOVI também será fundamental para os estudos das correlações entre os parâmetros e os diferentes tipos de uso do solo, usando as ferramentas da correlação de Spearman devido à característica não paramétrica de dependência das unidades.

#### 4.4. ÁREA DE INFLUÊNCIA DAS AMOSTRAS

Para localizar as áreas de influência para cada um dos 8 pontos analisados, distribuídos pela parte baixa da Bacia do Rio dos Cágados, no município de Ituberá, foi aplicado a mesma metodologia da delimitação da bacia. Com o Modelo Digital de Elevação Alos Palsar, aplicando os algoritmos “r.watershed” e “r.wateroutlet” do plug-in Grass, porém desta vez, ao invés de utilizar como exutório da bacia o local onde esta deságua no estuário de serinhaém, foram colocadas as coordenadas dos pontos de coleta.

Para os pontos de nascente, foi tomado a partir do valor presente no Código Florestal para a proteção da mesma (BRASIL, 2012). Para expandir o raio de atuação, este valor foi de 50m para 100m de raio, na intenção de ter uma melhor percepção da influência do meio em que a nascente está inserida.

#### 4.5. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA BACIA

O levantamento de uso e ocupação do solo da bacia teve no levantamento de campo a observação acerca das temáticas utilizadas como critério de observação, destas foram selecionadas: Área Urbana, Agropecuária, Corpos d’água, Solo Exposto, Vegetação Natural e Sistemas Agrofloretais, por fim foi adicionada a categoria nuvens devido problemas quanto a classificação destas. Esta etapa consistiu em levantamento bibliográfico para a metodologia utilizada para melhor classificação das classes escolhidas.

Para realizar o mapeamento de uso e cobertura, foi utilizada imagens do sensor Sentinel-2, devido a sua maior resolução espacial de 10m, superior às LandSat 8, com 30m. as imagens foram obtidas a partir do banco de dados COPERNICUS, pelo código da imagem “COPERNICUS/S2/20190715T125311\_20190715T125313\_T24LVK”, sendo esta com a melhor visibilidade disponível, e com a data de setembro de 2019.

O tratamento e classificação da imagem foram feitos utilizando a plataforma Google Earth Engine, através da ferramenta Code Editor. Para a classificação foi adicionada a biblioteca “Sentinel-2 MSI: MultiSpectral Instrument, Level-2A”. Inserindo a imagem já escolhida, utilizando todas as bandas disponíveis, foi adicionado o contorno das bacias do Rio dos Cágados e do Rio Juliana, para obter uma comparação entre estas.

O processamento da imagem foi feito através do código “Clusterer.wekaKMeans.train”, onde a máquina faz o agrupamento dos pixels a partir do número de classes escolhidas e retorna o mapa com os Clusters já delimitados. Como o método de classificação escolhido para a área foi a não supervisionada, a chave de classificação da imagem é feita a partir das classes geradas pelo código, foram testadas com 15, 20 e 25 clusters. Foi escolhido o número de 25 por um melhor nível de detalhamento otimizando a memória da máquina.

Com base na imagem gerada, com algumas visitas a campo e observação da imagem original em falsa cor RGB 543 e 432, bem como observações dos dados do Google Earth, foi feita a classificação e agrupamento dos clusters, gerando uma imagem já classificada em 7 classes. Para observar a qualidade da classificação foi aplicado o índice de Kappa, gerando 125 pontos aleatórios dentro da imagem e formando uma matriz de confusão para avaliar os locais onde estes pontos estão na imagem classificada e na imagem observada para obter a validação da precisão dos dados obtidos.

Para obtenção do número de Kappa é necessário dos valores da acurácia global e a proporção das unidades concordantes, seguindo as seguintes fórmulas (Equação 1 e Equação 2), (NAVIN & AGILANDEESWARI, 2019):

$$A_g = \sum_{i=1}^n \frac{x_{ii}}{N} \quad \text{Equação 1}$$

$A_g$  = Acurácia Global;

$n$  = Número de classes da matriz confusão;

$x_{ii}$  = Diagonal principal;

$N$  = número de amostras;

$$K = \frac{A_g - U_c}{1 - U_c} \quad \text{Equação 2}$$

$K$  = Índice de Kappa;

$A_g$  = Acurácia Global;

$U_c$  = Proporção de unidades concordantes;

Para a avaliação do número de Kappa encontrado no Mapa, este foi comparado aos valores propostos por Landis & Koch (1977), presentes na Tabela 5, para então observar a qualidade da classificação estatisticamente.

Tabela 5: Desempenho do índice de Kappa

Índice de Kappa	Desempenho
$< 0$	Péssimo
$0 < k \leq 0,2$	Ruim
$0,2 < k \leq 0,4$	Razoável
$0,4 < k \leq 0,6$	Bom
$0,6 < k \leq 0,8$	Ótimo
$0,8 < k \leq 1,0$	Excelente

Fonte: Adaptada de Landis e Koch (1977)

#### 4.6. CORRELAÇÃO ENTRE OS PARÂMETROS ANALISADOS E O USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Para uma melhor análise dos dados foram feitas correlações entre os parâmetros analisados, e também entre os diferentes usos e ocupações do solo da região estudada. Para essa análise foram separadas os diferentes usos e ocupações do solo da área de influência e então foram observadas as áreas em hectare de cada uma das classes de uso da região.

Devido às características dos dados de uso do solo e qualidade da água analisados, por estes não possuírem distribuição normal, foi feita a correlação de Spearman entre as variáveis. A análise estatística foi feita através do software livre JAMOMI, na versão mais estável 2.2.5, este desenvolvido para análises estatísticas. Após a aplicação da correlação de Spearman os dados encontrados foram submetidos a classificação de Hopkins, as correlações significativas ainda foram submetidas a classificação de Hopkins (Tabela 6) para determinar o nível de correlação entre as amostras (VANZELA et al, 2010).

Tabela 6: Classificação de Hopkins

Fator de Correlação	Desempenho
$0 < k \leq 0,1$	Muito Baixo
$0,1 < k \leq 0,3$	Baixo

$0,3 < k \leq 0,5$	Moderada
$0,5 < k \leq 0,7$	Bom
$0,7 < k \leq 0,9$	Muito Bom
$0,9 < k \leq 1,0$	Excelente

Fonte: Adaptada VANZELA et al (2010)

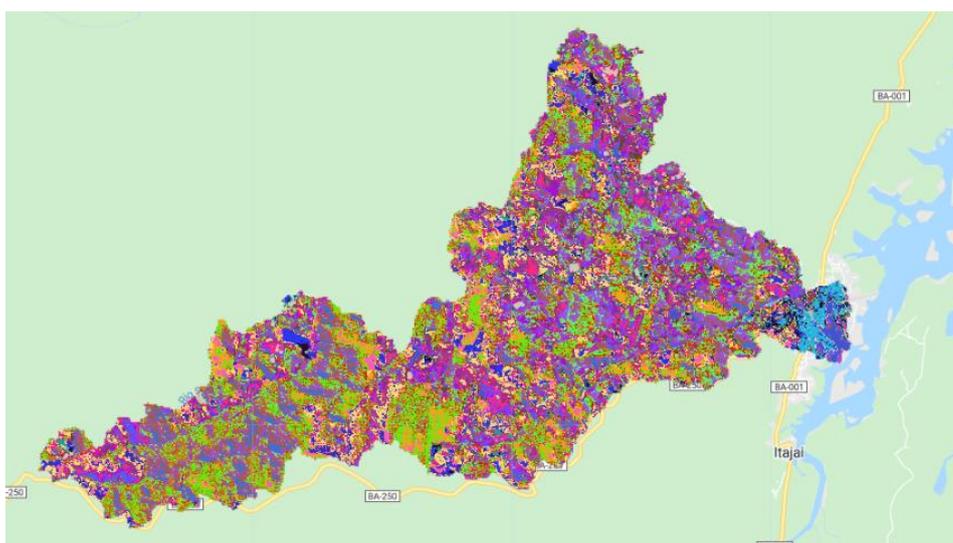
## 5. RESULTADOS E DOSSCUSSÃO

### 5.1. CARACTERIZAÇÃO DA BACIA

Na caracterização do uso e ocupação do solo da bacia foram consideradas as variáveis: Área Urbana, Agropecuária, Corpos D'água, Vegetação Natural, Sistemas Agroflorestais e nuvens. Estas classes foram escolhidas devido a facilidade de reconhecimento destas nas imagens classificadas, além de serem classes que entregam informações suficientes para o objetivo do trabalho.

O método de classificação não supervisionada usando o K-Means foi feito no Google Earth Engine (GEE), com o código disponível no ANEXO 3. A imagem utilizada em estudo foi de 15 de Julho de 2019, sendo a mais recente Sentinel-2 que abrange parte da APA do Pratigi e que tenha uma boa cobertura de nuvens, correspondente a 3%, dando uma boa visibilidade tanto para a Bacia do Rio dos Cágados, quanto para a Bacia do Rio Juliana. A partir do uso do Code Editor do GEE, utilizando o código de classificação simples do K-Means, utilizando 25 clusters, gerando a Figura 17, esta abrangendo toda a bacia do Rio dos Cágados nos diferentes conjuntos de pixels formados pelo aprendizado da máquina.

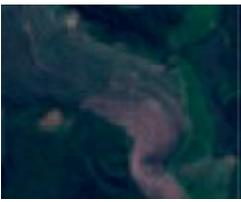
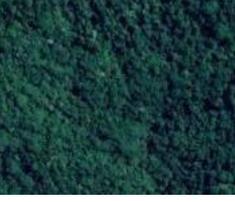
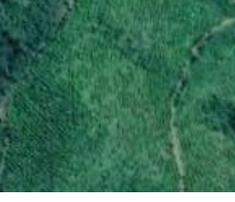
Figura 17: Classificação Simples por K-Means



Fonte: o Autor

O agrupamento das classes foi feito considerando os usos ditos anteriormente, com base na chave de classificação, Quadro 4, utilizando a fotointerpretação. A chave foi criada a partir de coletas de dados em campo e interpretação visual das imagens do Google Earth e da Sentinel-2 selecionada.

Quadro 4: Chave de Classificação da Imagem por Fotointerpretação

Classe	Imagens			Descrição da classe
	Sentinel – 2	Google Earth	Campo	
Área Urbana				Cor Laranja com mosaicos acinzentados, textura levemente rugosa, forma irregular
Agropecuária				Cor verde-claro, textura lisa, forma regular com plantações bem definidas
Corpos D'água				Cor azul ou preta, textura lisa; forma irregular
Vegetação Natural				Cor verde-escuro, textura rugosa
Sistemas Agroflorestais				Cor verde-claro, textura lisa, próxima a vegetação natural

Fonte: o Autor

A classificação abrangeu as áreas das bacias do Rio dos Cágados e do Rio Juliana, para obter uma melhor qualidade de dados para o treinamento da máquina. A partir da utilização da chave de classificação, as 25 classes foram agrupadas como visto na Tabela 7.

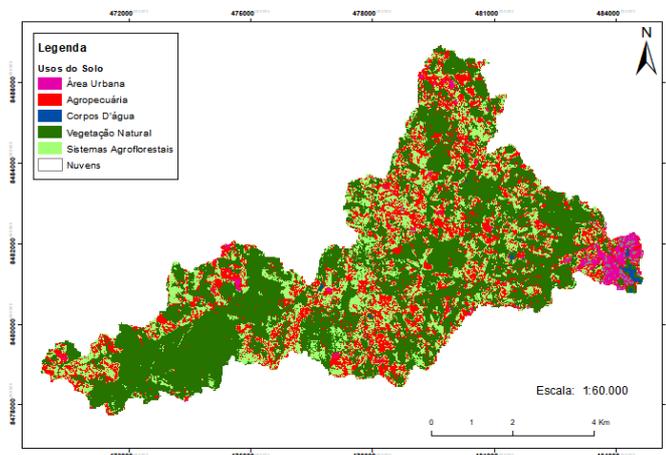
Tabela 7: Agrupamento das Classes de Uso do Solo

Classe de uso do solo	Cluster
Área Urbana	19
Agropecuária	2, 5, 6, 17, 18 e 23
Corpos D'água	8
Vegetação Natural	0, 1, 3, 7, 12, 13, 14, 15 e 16
Sistemas Agroflorestais	4, 9, 11, 20, 21, 22
Nuvem	10

Fonte: o Autor

A classificação não supervisionada de uso do e ocupação do solo da Bacia do Rio dos Cágados, na APA do Pratigi é apresentada na Figura 18. A área da bacia, com extensão correspondente de 4846,35 ha foi inteiramente classificada segundo as novas classes.

Figura 18: Uso e Ocupação da Bacia do Rio dos Cágados Utilizando Classificação Não Supervisionada



Fonte: o Autor

Para a classificação da área não foi considerada a diferenciação das culturas temporárias e perenes, tampouco de agricultura e pecuária, já que os limites dessas áreas são pouco especificados pela cultura de pastagens junto a culturas da região. Os corpos d'água selecionados abrangem tanto os lagos quanto o rio e a intrusão da maré, além do solo exposto conter alguns trechos de vias, locais sem vegetação, a pista de pouso municipal e pastagens com deficiência de cobertura vegetal.

Na Tabela 8 é apresentada as classes de uso do solo da bacia do Rio dos Cágados segundo sua área em hectare e a porcentagem que esta representa do total da bacia, com base nos dados obtidos da Figura 18.

Tabela 8: Quantificação das Classes de Uso e Ocupação do Solo da Bacia do Rio dos Cágados

Rios	Classes	Área Urbana	Agropecuária	Corpos D'água	Vegetação Natural	Sistemas Agroflorestais	Nuvem
Rio dos cágados	Área (há)	100,683	1063,271	13,608	2556,487	1105,237	4,915
	%	2,08%	21,9%	0,28%	52,77%	22,82%	0,10%
Rio Juliana	Área	107,127	4530,552	134,044	17078,245	5782,506	19,095
	%	0,39%	16,4%	0,48%	61,76%	20,91%	0,07%

Fonte: o Autor

Para a extensão da área de 4846,35 ha foram gerados 125 pontos aleatórios, estes foram distribuídos nas diferentes classes para comparar o local presente na Imagem Sentinel-2, no Google Earth e quando possível na identificação de campo. A Tabela 9 apresenta a matriz de confusão para as classes temáticas da imagem de classificação não supervisionada.

Tabela 9: Matriz de Confusão para a Classificação Não Supervisionada da Bacia do Rio dos Cágados

	Área Urbana	Agropecuária	corpos D'água	Vegetação Natural	Sistemas Agroflorestais	Nuvem	Total (usuário)
Área urbana	8						10
Agropecuária	1	25	1	1	2		30
Corpos D'água			11			1	12
Vegetação Natural				46	1		47
Sistemas Agroflorestais		2		2	15		19
Nuvem						7	7
Total (Produtor)	9	29	12	49	18	8	125

Fonte: o Autor

Analisando a matriz de confusão da classificação da bacia (Tabela 9), temos que a classe que obteve a maior correspondência foi a Vegetação Natural, as Nuvens e os Corpos D'água. Por outro lado, a classe Solo Exposto foi confundida com Área Urbana, bem como os Sistemas Agroflorestais com Agropecuária, devido à dificuldade de diferenciação destas áreas.

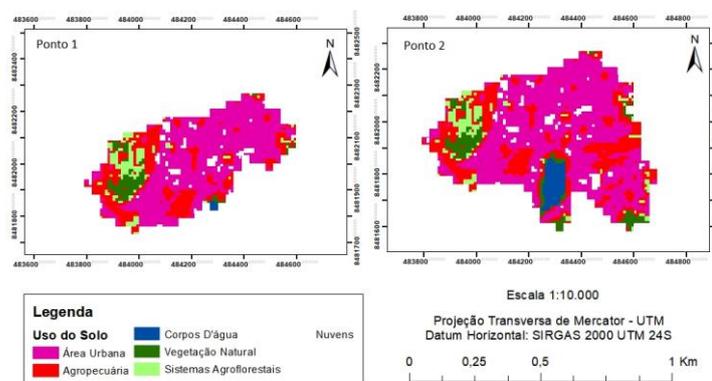
Para a acurácia da classificação da bacia, foram verificados os índices de Acurácia global e o coeficiente de Kappa, representando 0,896 e 0,863 respectivamente. A partir desses dados, considerando os valores de eficiência do coeficiente de Kappa (Tabela 5), temos que a classificação temática teve um desempenho excelente para as classes propostas.

Tomando o uso e ocupação do Solo obtido pela classificação não supervisionada, e obtendo as coordenadas dos pontos de coleta (Tabela 3), é possível observar a área de influência de cada ponto. O método proposto por de Santos (2019) para a bacia, tomando as coordenadas do plano amostral, nos dá uma sub-bacia com a área de influência para cada um dos pontos coletados.

Para as Coordenadas de P1 e P2 temos os primeiros pontos de coleta, a saída da drenagem do dique e seu ponto de lançamento com encontro para a maré, ambos sofrendo com intrusão salina em momentos de maré cheia, estes por estarem localizados na parte central da cidade, possui uma maior presença de área urbana.

Como é tradicional na cidade, os quintais costumam ser grandes e ter a presença de árvores cuja cultura é presente na região, como Cacau, Banana, coco além de ser comum também Mangueiras e Jambeiros, sendo assim a imagem classificada obteve uma grande área de Agropecuária, Vegetação Natural e Sistemas Agroflorestais. As áreas podem ser vistas na Figura 19, e sua quantificação pode ser observada na Tabela 10.

Figura 19: Área de Influência dos Pontos 1 e 2



Fonte: o Autor

Tabela 10: Quantificação de Áreas dos Pontos 1 e 2

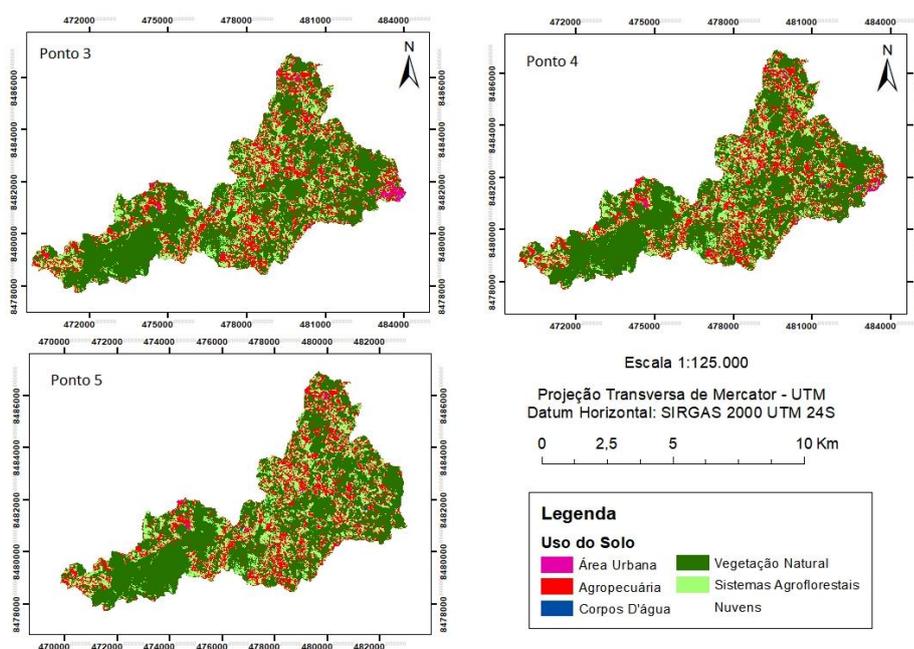
Pontos de Coleta	Classes	Área Urbana	Agropecuária	Corpos D'água	Vegetação Natural	Sistemas Agroflorestais	Nuvem
Ponto 1	Área (há)	13,886	6,025	0,103	1,281	1,671	0,995
	%	57,95%	25,1%	0,43%	5,35%	6,97%	4,15%
Ponto 2	Área (há)	21,053	9,825	1,35	2,202	2,054	1,424
	%	55,54%	25,9%	3,56%	5,81%	5,42%	3,76%

Fonte: o Autor

Para as Coordenadas de P3, P4 e P5 temos os pontos de coleta da área urbana do Rio dos Cágados, este indo desde seu encontro com a maré, no ponto 3 onde ocorre intrusão salina durante a maré cheia, subindo a região urbana da cachoeira Castro Alves até a área de transição para a zona rural do município.

Estes pontos têm predominância de vegetação natural, com forte presença de agropecuária e sistemas agroflorestais, que é o principal motor econômico do município, isso pode ser visto na Figura 20. A influência da classe urbana para a bacia diminui consideravelmente à medida que transiciona para a zona rural, esta mudança vai de 1,11% de cobertura para 0,58% para os pontos coletados, estes dados podem ser observados de forma quantificada na Tabela 11.

Figura 20: Área de Influência dos Pontos 3, 4 e 5



Fonte: o Autor

Tabela 11: Quantificação de Áreas dos Pontos 3, 4 e 5

Rios	Classes	Área Urbana	Agropecuária	Corpos D'água	Vegetação Natural	Sistemas Agroflorestais	Nuvem
Ponto 3	Área (há)	52,502	1035,53	3,903	2536,225	1096,577	1,781
	%	1,11%	21,9%	0,08%	53,66%	23,20%	0,04%
Ponto 4	Área (há)	37,461	1023,875	3,903	2534,329	1092,357	1,184
	%	0,80%	21,8%	0,08%	54,00%	23,28%	0,03%
Ponto 5	Área (há)	26,201	987,121	3,903	2472,548	1065,921	0,494
	%	0,58%	21,7%	0,09%	54,27%	23,40%	0,01%

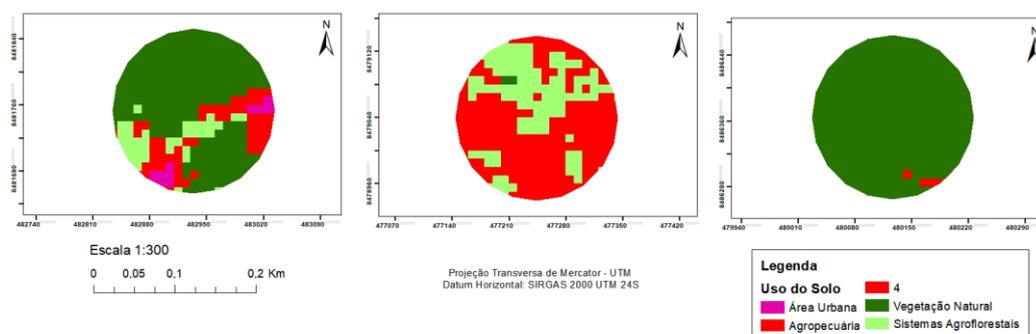
Fonte: o Autor

Para as Coordenadas de P6, P7 e P8 temos os pontos de coleta das nascentes, estes possuem características bem distintas entre elas, como pode ser visto na Figura 21, onde o Ponto 6 tem predominância de vegetação natural, com presença de todas as demais classes, uma vez que esta fica na transição entre as áreas rural e urbana.

As outras nascentes coletadas estão na parte mais alta da bacia, o Ponto 7 fica dentro de uma fazenda com monocultura de Cacau. Existe uma presença de sistemas agroflorestais na área, uma vez que a fazenda está passando pela renovação do plantio, para tanto é necessário a formação de sistemas agroflorestais em conjunto com outras plantas, nesse caso bananeiras, para sombrear a área até que os cacauzeiros já estejam estabelecidos.

O Ponto 8 é a única nascente encontrada que fica dentro de uma mata fechada, onde o único caminho de coleta foi por uma caminhada de 20 min entre a vegetação. Esta área tem predominância de vegetação natural, embora os arredores da mata já estejam sofrendo com desmatamento para a implantação da agropecuária, principalmente plantio de Banana e Cravo. Os valores quantificados para os usos dos pontos 6, 7 e 8 podem ser vistos na Tabela 12.

Figura 21: Área de Influência dos Pontos 6, 7 e 8



Fonte: o Autor

Tabela 12: Quantificação de Áreas dos Pontos 6, 7 e 8

Rios	Classes	Área Urbana	Agropecuária	Corpos D'água	Vegetação Natural	Sistemas Agrofloretais	Nuvem
Ponto 6	Área (há)	0,107	0,531	0,00	2,11	0,344	0,00
	%	3,46%	17,2%	0,00%	68,24%	11,13%	0,00%
Ponto 7	Área (há)		2,018	0,00	0,02	1,055	0,00
	%	0,00%	65,2%	0,00%	0,65%	34,11%	0,00%
Ponto 8	Área (há)	0,00	0,035	0,00	3,057	0,00	0,00
	%	0,00%	1,1%	0,00%	98,87%	0,00%	0,00%

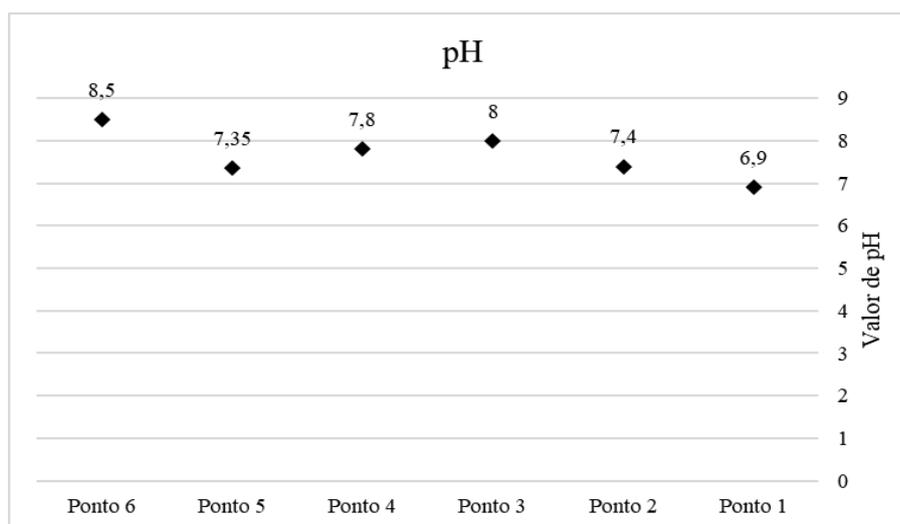
Fonte: o Autor

## 5.2. PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA

### 5.2.1. pH

Os Valores de Potencial Hidrogeniônico, pH, para os pontos de coleta estão de acordo com os valores com o intervalo proposto pelo CONAMA 357/05, que define os corpos hídricos de Classe 2 com pH variando de 6,0 a 9,0 como visto no gráfico presente na Figura 22. **Erro! Fonte de referência não encontrada..**

Figura 22: Valores de pH da Água Analisada na Bacia do Rio dos Cágados



Fonte: o Autor

Nos pontos analisados o pH houve uma variação de 1,6 entre o ponto com maior e menor valor. O ponto 1, mais próximo a saída de drenagem do dique da cidade apresentou valor mais próximo da neutralidade, porém os valores mais próximos a cachoeira apresentaram valores mais básicos, principalmente no exutório da bacia (Ponto 3) e na nascente na área urbana (Ponto 6).

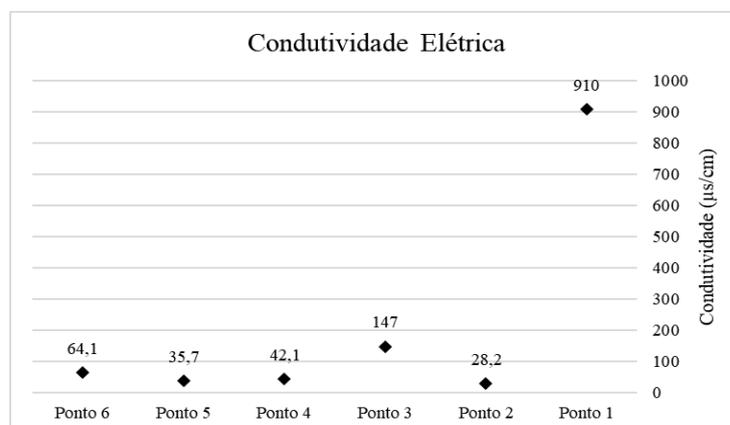
Os valores de pH mais alcalinos dos pontos 3, 4 e 6 podem estar relacionados devido aos locais onde foram feitas as amostragens, na parte central do município ao longo da cachoeira Castro Alves. O valor de pH encontrado na bacia está superior à média encontrada a jusante descrita por Carneiro et al. (2021) com 7,07 no estuário de Serinhaém.

O valor de pH acaba sendo muito influente na mobilidade de metais, valores de pH mais baixo acabam por aumentar a mobilidade de metais uma vez que estes começam a se mover em fase aquosa. O pH está diretamente ligado à redução da mobilidade de metais como Cd, Zn, Ni, Cu e Pb, que entram para a fase aquosa a partir de  $\text{pH} < 5$  (SINTORINI et al 2021).

### 5.2.2. Condutividade

Os Valores de Condutividade Elétrica foram medidos nos primeiros 6 pontos através de uma sonda Multiparâmetros, não existem valores limites para Condutividade segundo legislação. Os valores podem ser vistos na Figura 23.

Figura 23: Valores de Condutividade Elétrica da Água Analisada na Bacia do Rio dos Cágados



Fonte: o Autor

Segundo Piratoba et. al (2017) a condutividade elétrica, embora não especifique quantidades, pode mostrar modificações na composição dos corpos d'água, principalmente relacionados a concentrações de íons. Os valores de Condutividade elétrica na área portuária de Barcarena, PA variaram de 35,77 a 68,08  $\mu\text{mS/cm}$ , mostrando valores de uma região urbana onde não existe lançamento direto de esgotamento na área.

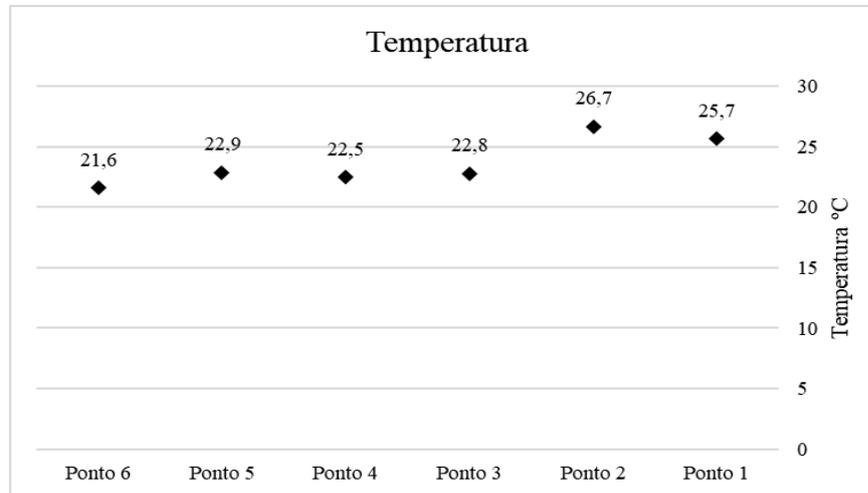
. Para Nascimento et. al (2015) condutividade elétrica superior a 100  $\mu\text{mS/cm}$  podem indicar uma quantidade grande de íons dissolvidos na água, podendo estar relacionada à interferência humana. Nesse sentido, Nascimento et. al (2015) encontrou para Riacho Capivara e Riacho Bacuri valores que variavam de 182,8 a 293,0  $\mu\text{mS/cm}$  e 70,4 a 377,0  $\mu\text{mS/cm}$  respectivamente, no trabalho foi encontrado valores de Ferro dissolvidos, cromo e chumbo presentes na amostra.

Nesse sentido, os valores de condutividade elétrica para a Bacia do Rio dos Cágados possuem valores médios de condutividade, com exceção do exutório da baica (Ponto 3), que possui um valor alto de 147  $\mu\text{mS/cm}$  e a saída de drenagem do dique (Ponto 1), onde foi encontrado 910  $\mu\text{mS/cm}$ , indicando uma forte relação com íons na água, que pode estar ligada a intrusão salina que ocorre durante o período de maré cheia, e também o despejo de esgotos domésticos nos canais de drenagem do município.

### 5.2.3. Temperatura

A temperatura da água da Bacia do Rio dos Cágados foi medida também nos primeiros 6 pontos através de uma sonda Multiparâmetros. A legislação não conta com valores de temperatura, embora esta possa atingir diretamente a biota presente, principalmente quando relacionada a lançamentos industriais de águas de resfriamento (VON SPERLING, 1996). Os valores podem ser vistos na Figura 24.

Figura 24: Valores de Condutividade Elétrica da Água Analisada na Bacia do Rio dos Cágados



Fonte: o Autor

Segundo Piratoba et. al (2017), a temperatura está ligada tanto a fatores climáticos, quanto fatores antrópicos como o desmatamento e a ocupação de margens dos corpos hídricos. No estudo para a área portuária de Barcarena, PA os valores foram de 29,36 °C a 31,11 °C em uma área sem cobertura vegetal.

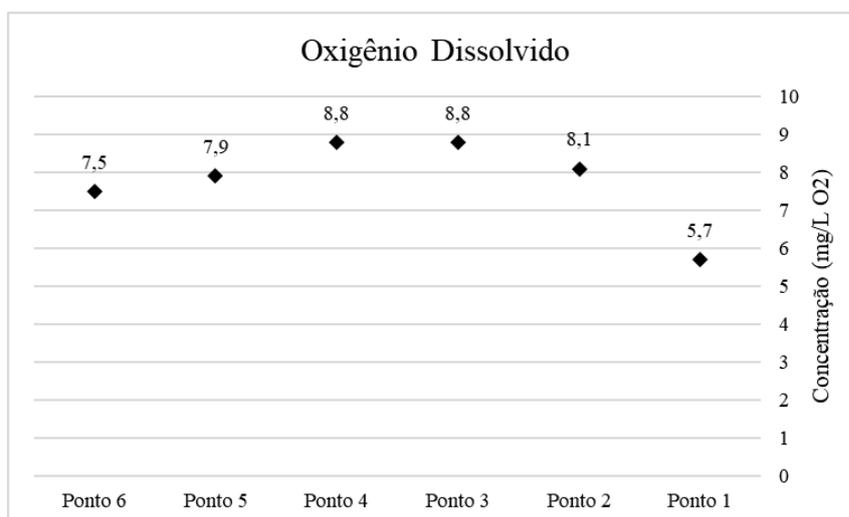
Para Silveira, Okumura & Yamaguchi (2021) a temperatura da água pode ser um indicativo da degradação do meio ambiente, principalmente em relação às margens dos corpos hídricos. Os valores encontrados para Ribeirão Morangueiro em Maringá-PR variaram de 23,7 °C em locais mais preservados até 27,5 °C no centro do município (SILVEIRA, OKUMURA, YAMAGUCHI, 2021).

Na Bacia do Rio dos Cágados, os valores variaram de 21,6 a 26,7 °C, sendo a nascente urbana (Ponto 6), que mesmo próximo ao ambiente urbano apresenta um menor impacto, principalmente no que diz respeito a questões urbanas. Por outro lado, o dique (pontos 1 e 2) foi a região o que apresentou a maior temperatura, estes no centro da cidade e com o lançamento de efluentes devido aos canais de drenagem. A região do Dique, apresenta muita vegetação rasteira e pouca sombra, o que pode estar ligado diretamente ao alto valor de temperatura.

#### 5.2.4. Oxigênio dissolvido

Os Valores de Oxigênio Dissolvido, OD, para os pontos de coleta estão de acordo com os valores de intervalo proposto pelo CONAMA 357/05, que define os corpos hídricos de Classe 2 com OD superior a 5 mg/L O<sub>2</sub>, como visto no gráfico presente na Figura 25. Os pontos coletados foram do 1 ao 6, não levando em consideração os valores das nascentes da região alta da bacia.

Figura 25: Valores de Oxigênio Dissolvido na Água Analisada na Bacia do Rio dos Cágados



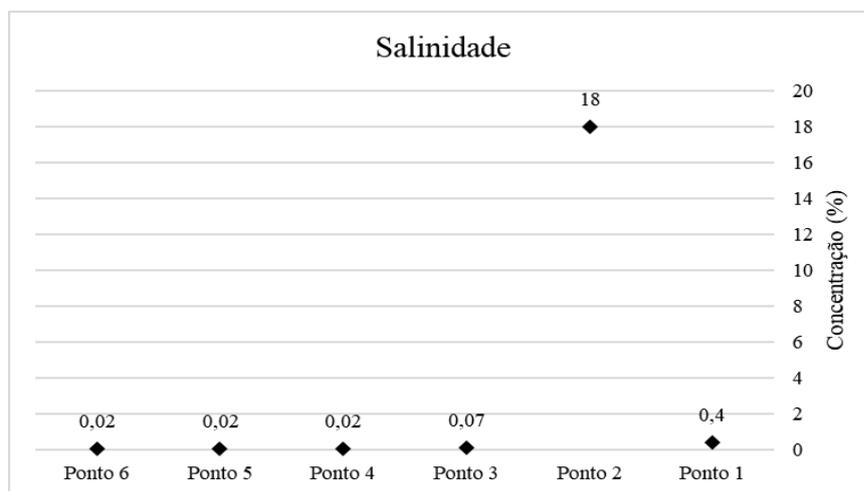
Fonte: o Autor

Segundo Von Sperling (1996), valores de OD são inversamente proporcionais à temperatura, onde a saturação da água a 20°C é de 9,2 mg/L O<sub>2</sub>. Segundo Paula et. al (2021) o OD é o parâmetro fundamental para o estudo sobre a poluição dos corpos hídricos por efluentes urbanos e despejos orgânicos, sendo na bacia do Itapecuru, em Caxias – MA, os valores variaram de 4,6 a 11 mg/L O<sub>2</sub>.

#### 5.2.5. Salinidade

Os Valores de Salinidade não possuem limites fixados para a qualidade da água segundo o CONAMA 357/05. Por outro lado, a salinidade está ligada à definição dos corpos hídricos, onde valores até 0,5‰ representam água doces, e valores em limite de 30‰ são salobras. Os valores de Salinidade coletados podem ser vistos na Figura 26.

Figura 26: Valores de Salinidade na Água Analisada na Bacia do Rio dos Cágados



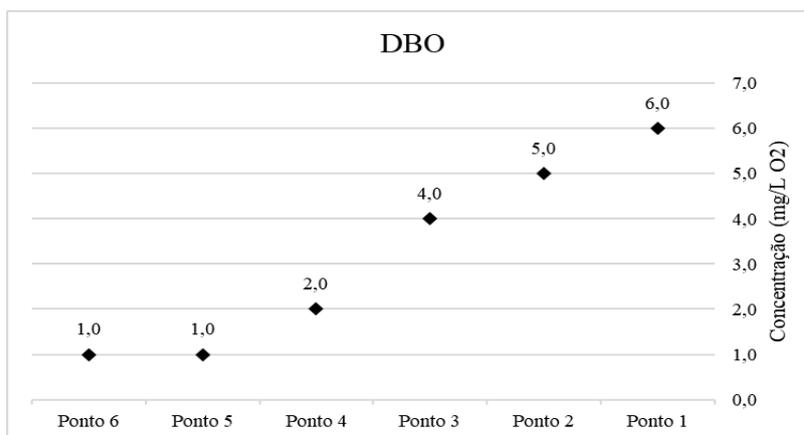
Fonte: o Autor

Segundo o CONAMA 357/05 os pontos de coleta da Bacia do Rio dos Cágados são de água doce, com exceção do Ponto 2, que possui salinidade de 18‰. Durante o período de cheia, a maré invade o dique (pontos 1 e 2) e a região do exutório da bacia (ponto 3), podendo influenciar diretamente na salinidade da região.

#### 5.2.6. Demanda Biológica de Oxigênio

Os Valores de Demanda Biológica de Oxigênio, DBO, nos pontos coletados não estão todos em acordo com os valores limite proposto pelo CONAMA 357/05, que define os corpos hídricos de Classe 2 o DBO inferior a 5 mg/L O<sub>2</sub>, como visto no gráfico presente na Figura 27. Foi feita a coleta para os pontos 1 ao 6, não levando em consideração os valores das nascentes da região alta da bacia.

Figura 27: Valores de DBO na Água Analisada da Bacia do Rio dos Cágados



Fonte: o Autor

Os pontos em que foram feitas análises de DBO variaram entre 1,0 a 6,0 mg/L O<sub>2</sub>. O dique foi o local que apresentou valores em desacordo com a legislação CONAMA 357/05, sendo o ponto 1, próximo a saída a drenagem da cidade, apresentou o maior valor, com 6,0 mg/L O<sub>2</sub>, uma das possíveis causas para este aporte é o lançamento de efluentes domésticos nos canais de drenagem devido a ausência de coleta de esgoto.

Os valores de DBO na área urbana do município crescem à medida que se aproxima do exutório da bacia, variando de 1,0 a 4,0 mg/L O<sub>2</sub>. Os esgotos da área central do município são lançados ao longo do rio, como visto na Figura 28 isso interfere diretamente na DBO. A falta de infraestrutura urbana acaba sendo um fator preponderante para a quantidade de DBO presente na bacia.

Figura 28: Lançamento de Esgoto Diretamente na Bacia do Rio dos Cágados

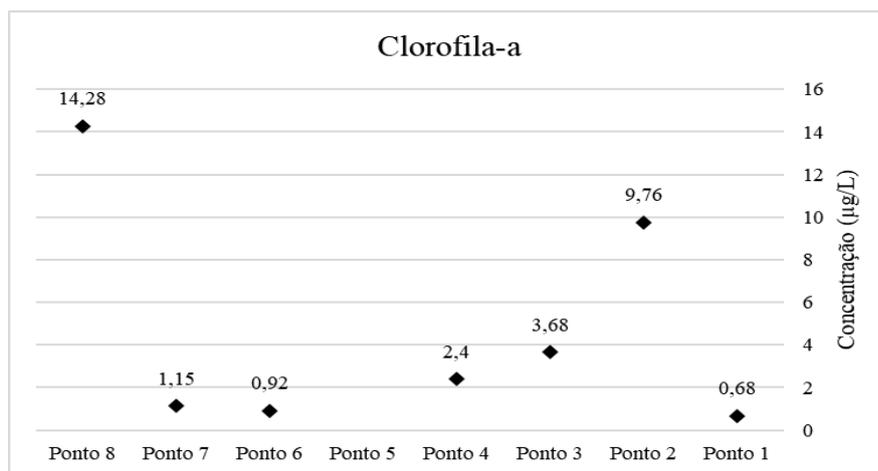


Fonte: o Autor

### 5.2.7. Clorofila-a

Os Valores de Clorofila-a, nos pontos de coleta estão de acordo com os valores com o intervalo proposto pelo CONAMA 357/05, que define os corpos hídricos de Classe 2 com a clorofila-a inferior a 30 µg/L como visto no gráfico presente na Figura 29.

Figura 29: Valores de Clorofila-a na Água Analisada da Bacia do Rio dos Cágados



Fonte: o Autor

A variação de Clorofila-a ao longo da bacia foi de 0,68 a 14,28 µg/L. O ponto 2, na saída do dique da cidade apresentou um valor de 9,76 µg/L, isso pode estar ligado a concentração de algas devido ao lançamento de esgotamento, mostrando uma possível alteração no estado trófico da região.

O ponto 8, uma nascente no fundo de vale de uma mata apresentou o maior valor, com 14,28 µg/L, uma das possíveis causas para este valor acaba sendo um erro analítico, uma vez que não há lançamento de efluentes ou alterações antrópicas na área.

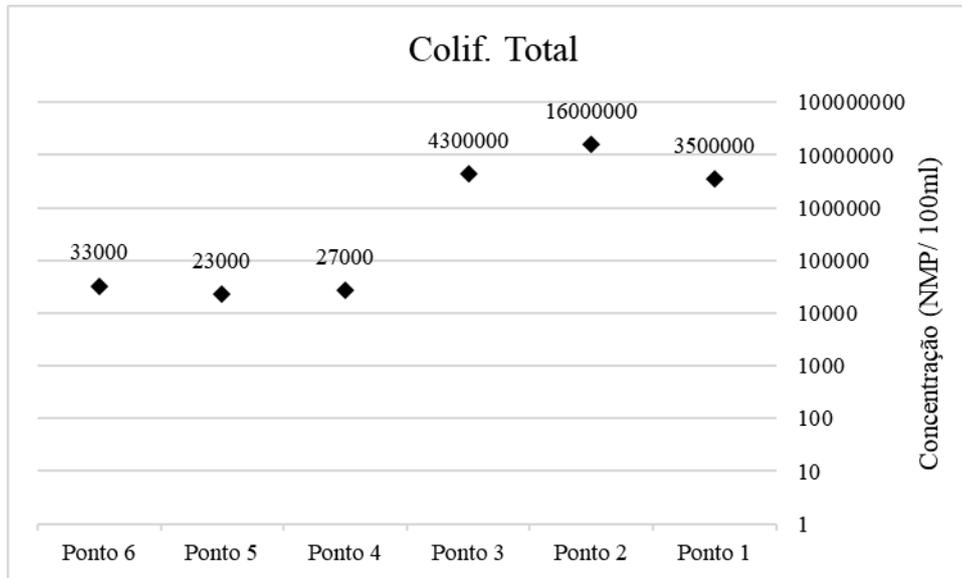
### 5.2.8. Coliformes Totais e Termotolerantes

Os valores de Coliformes totais (

Figura 30) e termotolerantes foram feitos ao longo do rio, nos pontos de 1 a 6. O CONAMA 357/05, define para os corpos d'água de classe 2 valores de coliforme termotolerantes inferiores a 1000 NMP/ 100ml, dessa forma, os todos pontos coletados, com

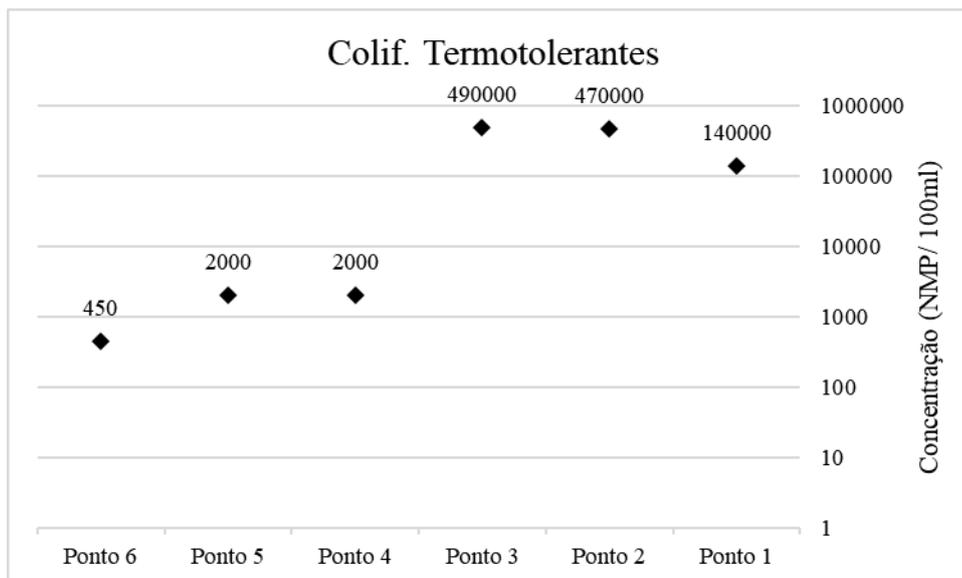
exceção da nascente urbana (Ponto 6) estão em desacordo com a legislação, como mostra a Figura 31.

Figura 30: Valores de Coliformes Totais na Água Analisada da Bacia do Rio dos Cágados



Fonte: o Autor

Figura 31: Valores de Coliformes Termotolerantes na Água Analisada da Bacia do Rio dos Cágados



Fonte: o Autor

Segundo Von Sperling (1996), os coliformes termotolerantes são um grupo de bactérias que servem como indicador de contaminação fecal, estando ligada ao lançamento irregular de efluentes domésticos e de criação de animais. Dentro do grupo coliformes, existe um risco de infecção por doenças graves, principalmente ligadas ao sistema gastrointestinal (VON SPERLING, 1996).

Coliformes termotolerantes com valores acima de 1000 NMP/ 100ml são um bom indicador de que existe lançamento direto de efluentes agrícolas ou urbanos nos corpos hídricos, principalmente em regiões com maior densidade populacional. Segundo Amâncio et al. (2018), os rios Capivari e Mortes – MG, possuem valores significativos de coliformes devido a presença de população em seu entorno que lançam diretamente os efluentes no leito dos rios, além das atividades agrícolas que também fazem lançamento de efluentes agropecuários in natura no ambiente. Valores de coliformes altos de coliformes podem causar casos de *Vibrio cholerae*, *Yersinia enterocolitica*, *Escherichia coli* e *Cryptosporidium sp*, além de surtos de diarreia em comunidades vulneráveis.

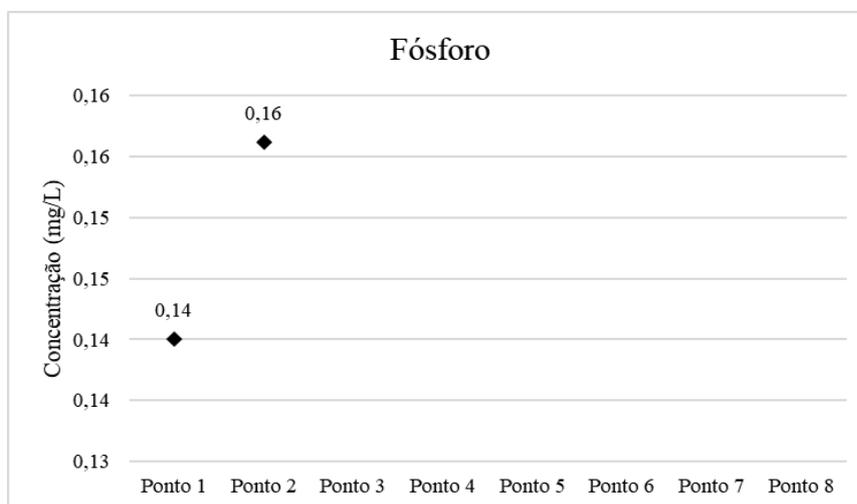
Para a área urbana do município de Ituberá, na parte mais próxima a zona rural (Pontos 4 e 5), os valores estão em desacordo com a legislação CONAMA 357/05, com  $2 \times 10^3$  NMP/ 100ml. Nas áreas mais urbanizadas o valor excede em muito os valores presentes na legislação, sendo o  $4,9 \times 10^5$ ,  $4,7 \times 10^5$  e  $1,4 \times 10^5$  NMP/ 100ml para os pontos 3, 2 e 1 respectivamente, estes podem estar ligados ao lançamento de efluentes nessas áreas. Os coliformes termotolerantes representam riscos à saúde humana, valores superiores a 2500 NMP/ 100ml já tornam o ambiente impróprio, dessa maneira, a Bacia do Rio dos Cágados representa um risco a comunidade Ituberanaense, principalmente para aqueles que entram em contato direto com a região mais urbana da bacia (VON SPERLING, 1996).

#### 5.2.9. Fósforo

O fósforo é um elemento fundamental para observar o estado atual de trofia do ambiente. Este elemento ocorre naturalmente no ambiente através da dissolução de elementos contidos no solo e decomposição da matéria orgânica (VON SPERLING, 1996). Segundo o CONAMA 357/05, os corpos hídricos de Classe 2 não podem ultrapassar os valores de 0,124

mg/L. Como pode ser visto no gráfico da Figura 32, os pontos 1 e 2 estão em desacordo com os valores de legislação.

Figura 32: Valores de Fósforo na Água Analisada da Bacia do Rio dos Cágados



Fonte: o Autor

Segundo Von Sperling (1996), um ambiente com sobrecarga de fósforo pode estar ligado a origem antropogênica, como despejos domésticos, industriais e fertilizantes. Partindo desse pressuposto, a localização dos pontos 1 e 2 indicam uma contaminação por esgoto doméstico, vindo dos canais de drenagem, os quais recebem lançamento de esgotos por ligações irregulares.

O aporte de esgoto pode ocasionar o aumento do grau de trofia do ambiente, que pode aumentar a DBO e reduzir a oxigenação do ambiente (VON SPERLING, 1996). Sendo assim, a quantidade de fósforo no ambiente, bem como os valores de DBO e OD vistos anteriormente, indicam uma possível relação entre o esgotamento sanitário lançado nos pontos 1 e 2 e os desacordos destes com o CONAMA 357/05.

#### 5.2.10. Metais

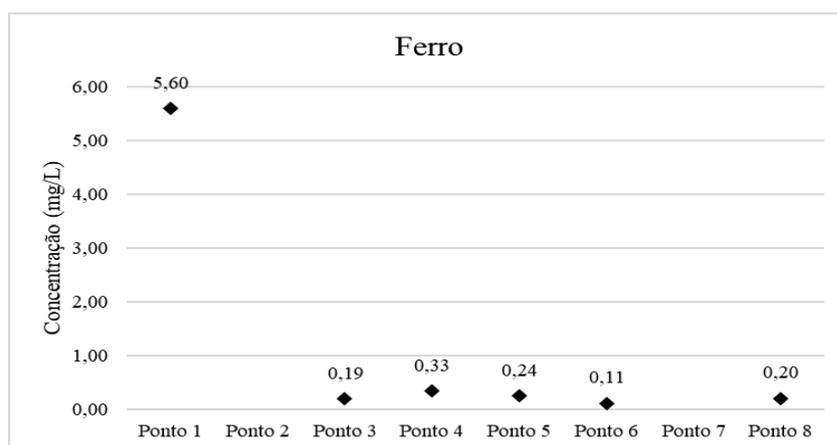
A presença de metais no ambiente ocorre de maneira natural devido ao processo natural de decomposição das rochas (MARTINS, BRAIT, SANTOS, 2017). Dentre os metais mais analisados temos o Fe, Al e Mn devido sua capacidade de, em ambientes de pH não

ácido, neutralizar elementos traços resultando na formação de argilas (SOLOMONS & FÖRSTNER,1984).

Segundo o CONAMA 357/05, os valores de Fe, Mn e Zn para corpos hídricos de classe 2 são de 0,3 mg/L Fe, 0,1 mg/L Mn e 0,18 mg/L Zn, nas figuras Figura 33,

**Figura 34** e Figura 35 é possível observar os valores encontrados para a bacia do Rio dos Cágados nos pontos coletados.

Figura 33: Valores de Ferro dissolvido

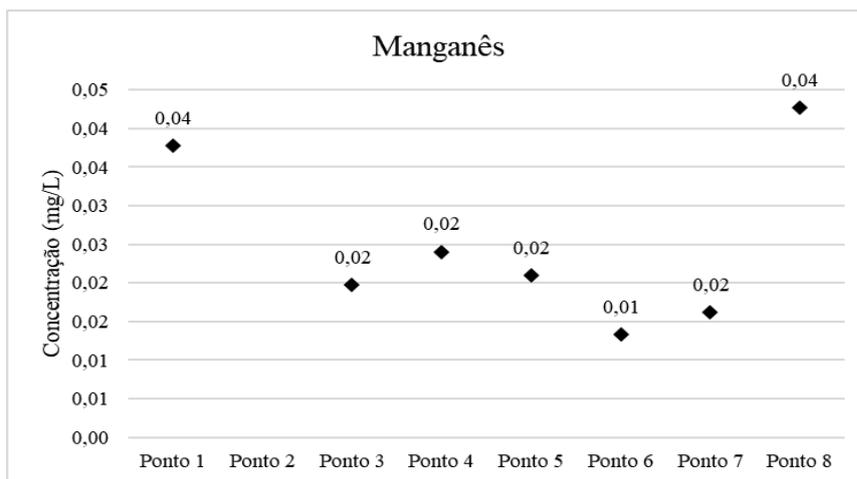


Fonte: o Autor

Os valores de Ferro presentes na bacia estão de acordo com o CONAMA 357/05, com exceção da saída de drenagem do dique (Ponto 1) e da cachoeira (Ponto 2). Embora não haja uma causa aparente para esses valores, o encontrado para o Ponto 1 aparenta ser um erro experimental devido a discrepância para com os outros dados.

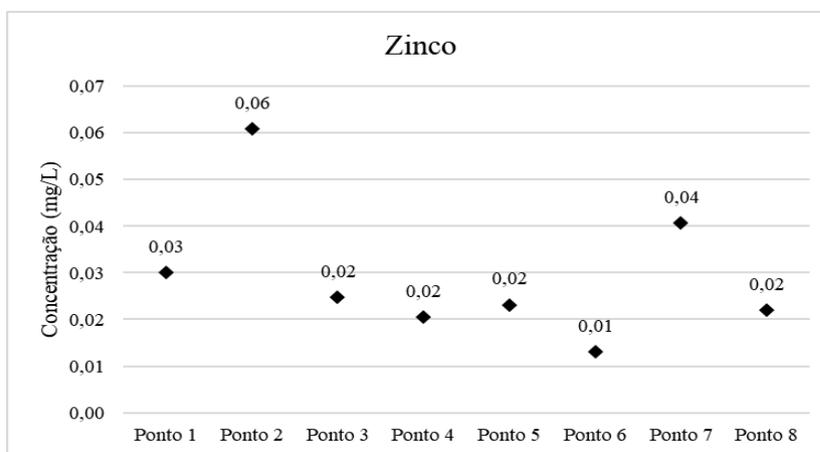
Segundo Xiao et al. (2021) o ferro se mostrou um elemento importante na floração de cianobactérias em ambientes eutróficos, sendo que nessa situação ocorre a liberação do Ferro e do Fósforo dos sedimentos. A partir do que foi visto na Figura 32, o Fósforo no ponto 1 também indica valores acima do padrão desses elementos, indicando um possível processo de eutrofização na região.

Figura 34: Valores de Manganês dissolvido



Fonte: o Autor

Figura 35: Valores de Zinco dissolvido



Fonte: o Autor

Já os valores de Zn e Mn estão de acordo com o que é indicado no CONAMA 357/05 para águas superficiais de classe 2, como pode ser visto nas Figuras

Figura 34 e Figura 35.

### 5.3. ANÁLISE DOS SEDIMENTOS

Os valores de coleta para água e sedimentos foram feitos em campo e as análises foram realizadas no LEPETRO na Universidade Federal da Bahia, embora as amostras tenham sido preparadas no Laboratório de Geoquímica e Catálise Ambiental da Universidade Estadual de Feira de Santana. As análises foram feitas em triplicata, e estão presentes no Anexo 1 para água e Anexo 2 para Sedimentos.

Para melhor interpretação dos dados de metais presentes nos sedimentos da Bacia do Rio dos Cágados, foram comparadas as concentrações com dados de outros rios com características de transição entre áreas urbanas e rurais, que podem ser vistos no Quadro 5.

Quadro 5: Concentrações médias de metais em semimetais de outras bacias (mg kg<sup>-1</sup>)

Área de Estudo	Cu	Cr	Pb	Fe	Zn	Ni	Mn
Rio Juliana <sup>1</sup>	42,35	108,76	17,2	-	133,55	13,57	-
Estuário Serinhaém <sup>2</sup>	1,15	61,28	13,53	27.730,0	54,76	9,82	276,4
Rio Conceição <sup>3</sup>	25,12	230,5	22,33	177.117	51,1	62,3	453,6
Rio Xiangjiang <sup>4</sup>	71.29	59.71	102.52	-	257.17	36.29	-
Rio Vieira <sup>5</sup>	67,2	0	0	-	259,5	33,8	-
Presente Trabalho	54,4	228,3	32,6	41.084,9	105,4	43,1	162,7

Fonte: 1: Mascarenhas et. al (2019); 2: Carneiro et al. (2021); 3: Leão et. al (2021); 4: Huang et al (2020); 5: Reis et. al (2019);

Nos pontos de coleta da área de estudo os valores de Cádmio ficaram abaixo do limite de detecção do aparelho, sendo assim este não foi considerado na discussão, apresentando para todos os pontos o valor de < 0,25 mg kg<sup>-1</sup>.

Embora não haja legislação específica para sedimentos nos corpos hídricos no Brasil, o CONAMA 454/12 estabelece valor de qualidade para o material dragado de águas nacionais como visto na Tabela 13. Os valores de sedimentos de Nível 1 são o limiar o qual existe a

menor probabilidade de efeitos adversos à biota, gerando menor dano ao ambiente. Por outro lado, os valores estabelecidos para os sedimentos de Nível 2 representam um risco de prováveis efeitos adversos nas comunidades biológicas.

Tabela 13: Valores de Referência de Qualidade de Metais em Sedimentos

Valores de Referência	Cu (mg/Kg)	Cr (mg/Kg)	Pb (mg/Kg)	Zn (mg/Kg)	Ni (mg/Kg)
Nível 1	35,7	37,3	35,0	123	18
Nível 2	197	90	91,3	315	315

Fonte: CONAMA 454/12

Os valores apresentados no tópico a seguir são os valores médios de cada um dos parâmetros analisados, e os dados em branco representam que não houve valor acima do limite de detecção para o mesmo.

### 5.3.1. Alumínio, Ferro e Manganês

Os valores de Alumínio, Ferro e Manganês não contam com limites de concentração para sedimentos, embora para os Latossolos as altas concentrações sejam comuns, não representando contaminação por atividades antropogênicas (CARVALHO, VILAS BÔAS & FADIGAS, 2013).

O conceito de Latossolo está ligado diretamente à lixiviação e intemperização, que causam a baixa atividade das argilas presentes. Esses solos, presentes na região da bacia do Rio dos Cágados, apresentam pH alto, e no processo de lixiviação ocorre a perda de nutrientes e de outros elementos, intensificando a presença de óxidos de ferro e alumínio. Pela deficiência de nutrientes, e a forte presença de óxidos, o latossolo é limitado frente à utilização agrícola, necessitando de correções recorrentes em pH e nutrientes (KER, 1997).

Os óxidos de ferro e manganês, devido a capacidade de reação com metais traços como Cd, Cr, Pb entre outros, são importantes de serem estudados pelos problemas que estes elementos podem causar ao ambiente e até a saúde humana (KER, 1997). Os latossolos presentes em regiões próximas a estuários, principalmente em regiões salinas podem estar

associados a concentrações de metais traço em estuários, mesmo aqueles sem ações antrópicas (Badri & Aston, 1983). Para a Bacia do Rio dos Cágados, os valores de Alumínio, Manganês e Ferro nos sedimentos estão presentes na Tabela 14.

Tabela 14: Valores de Alumínio, Manganês e Ferro nos Sedimentos Analisada da Bacia do Rio dos Cágados em mg Kg<sup>-1</sup>

Elemento	Ponto 1 (n=3)		Ponto 2 (n=3)		Ponto 3 (n=3)		Ponto 4 (n=3)	
	$\bar{x}$	$\pm \sigma$						
Al	123196,3	3939,0	91909,5	13436,9	90274	11200,4	60241,7	10209,3
Fe	41782,9	2996,0	41771,5	2490,1	44290,3	3080,0	31041,3	3255,4
Mn	75,8	15,1	144,5	20,9	173	129,4	110,6	21,5
Elemento	Ponto 5 (n=3)		Ponto 6 (n=3)		Ponto 7 (n=3)		Ponto 8 (n=3)	
	$\bar{x}$	$\pm \sigma$						
Al	118071	3765,7	122188,6	1573,5	132527,3	1820,3	118828,3	14321,8
Fe	43831,1	568,1	46654,7	171,8	46263,5	281,0	33044,3	1863,9
Mn	143,8	5,8	417,7	8,4	136,5	2,5	99,5	6,9

Fonte: o Autor

Carneiro et. al (2021), em seu estudo sobre o estuário do Rio Serinhaém obteve um valor médio para ferro e manganês de 22.730,0 mg/Kg e 276,4 mg/Kg respectivamente, estes sedimentos estavam associados a baixos valores de metais traço, em um estuário a jusante da área de estudo e com alto grau de preservação. Por outro lado, Leão et. al (2021), obteve 177.117 mg/Kg de ferro no Rio Conceição, associados altos valores de Cobre e Cromo advindos de provável atividade mineradora na região.

Os valores de Alumínio, Ferro e Manganês na bacia não tiveram uma considerável variação, porém apontando para uma baixa no ponto 4, na cachoeira Castro Alves, isso pode ocorrer devido ao arraste das frações mais finas onde estão presentes as argilas que possuem esse elemento, dando um aspecto mais arenoso aos sedimentos da área.

Segundo Mascarenhas et. al (2019), existem concentrações significativas de metais traços na região do estuário de Serinhaém, segundo a mesma, elementos como Cr, Cu e Ni apresentaram altos valores que podem estar associado a contaminação da área. As altas concentrações de alumínio, manganês e ferro presentes na região, bem como o pH alto da

bacia podem estar associados a presença de óxidos na argila, sendo assim, a bacia tem potencial de terem origem natural, metais traço em concentrações consideráveis.

### 5.3.2. Metais-Traço

Segundo o IUPAC (2002), os metais-traços são aqueles encontrados em menor concentração, seguindo frações de p.p.m. ou menor, podem ser encontrados em água, solo, plantas, tecidos, etc. Dentre as fontes naturais desses elementos temos o intemperismo natural das rochas, e queimadas naturais ou atividade biológica, porém, as atividades antrópicas tem se destacando no aumento dessas concentrações, principalmente no que diz respeito a atividades industriais e agrícolas, que causam graves problemas ao ambiente (SOUZA, et. al 2015).

Os elementos traço analisados foram: Cr, Cu, Ni, Zn, Pb e Cd estes foram determinados para os sedimentos superficiais da Bacia do Rio dos Cágados, na APA do Pratigi. Na Tabela 15 temos os valores médios para cada um dos pontos coletados, com exceção do Cd, pois todos os valores ficaram abaixo do limite de detecção do equipamento.

Tabela 15: Valores de Metais Traço nos Sedimentos Analisada da Bacia do Rio dos Cágados em mg Kg<sup>-1</sup>

Elemento	Ponto 1 (n=3)		Ponto 2 (n=3)		Ponto 3 (n=3)		Ponto 4 (n=3)	
	$\bar{x}$	$\pm \sigma$						
Cr	135,3	27,90567	140,3	23,728314	173	45,985657	97,8	14,940403
Cu	38,7	7,4773547	59,1	7,5794393	81,2	20,474238	53,8	15,952301
Ni	28	6,41538	28,2	4,8075878	27,5	5,4535524	8,4	3,2836616
P	1039,1	149,23499	1223,6	167,44373	1341,9	312,52774	420,7	97,747856
Pb	31,4	4,6436229	34,8	3,4565059	55,9	11,333412	29,7	1,5621886
Zn	96,6	18,179973	222,1	30,284533	203,4	50,793102	47,3	8,3647196
Elemento	Ponto 5 (n=3)		Ponto 6 (n=3)		Ponto 7 (n=3)		Ponto 8 (n=3)	
	$\bar{x}$	$\pm \sigma$						
Cr	109,9	3,4808237	215,6	2,6288083	767,8	6,7876088	187	15,192269
Cu	57	1,8626415	75,6	1,4193778	23,8	0,2212088	45,8	3,4525401
Ni	14	0,1059874	52,7	0,5260228	129,1	0,7159842	56,6	7,1654262
P	584,2	13,021521	836,6	36,584468	368,2	20,591989	552,9	32,319035
Pb	15,4	1,4481367	8,3	2,1965959	17,7	0,4886717	67,7	14,671197
Zn	67,6	2,1346272	80	1,7225853	64,4	0,8362416	61,5	5,5114094

Fonte: o Autor

As concentrações de Cr encontradas na área variaram de 97,8 mg Kg<sup>-1</sup> a 767,8 mg Kg<sup>-1</sup> entre os pontos. A menor concentração encontrada foi no Ponto 4, para este ponto foi temos um valor mais baixo de Fe e Mn, bem como uma provável menor quantidade de argilas. A maior concentração foi vista no ponto 7, em uma nascente em meio a uma fazenda de cacau.

Os valores de Cr para os sedimentos da Bacia do Rio dos Cágados foram elevados para toda a bacia, comparando com os estudos do Quadro 5, mesmos aqueles com forte concentração de atividades agrícolas e com proximidade local como Rio Juliana (MASCARENHAS et. al, 2019) com 108,76 mg Kg<sup>-1</sup>, e com forte urbanização como o Rio Xiangjiang (HUANG et al 2020) com 59,71 mg Kg<sup>-1</sup>, não tiveram valores próximos aos encontrados por todo o Rio dos Cágados. O CONAMA 454/12, estabelece para sedimentos de nível 2, aqueles que possuem uma provável ação negativa para a biota, um valor acima de 90 mg Kg<sup>-1</sup>, dessa forma, todos os pontos da bacia do Rio dos Cágados podem estar causando problemas às comunidades biológicas.

Dentre os estudos presentes no Quadro 5, a bacia que mais se aproximou do Rio dos Cágados foi o Rio Conceição (LEÃO et. al, 2021), com uma média de 230,5 mg Kg<sup>-1</sup>, porém essa bacia sofre com intensa atividade mineradora, o que não ocorre na do presente estudo. O estudo de Mascarenhas (2018), que aborda valores de referência para qualidade de sedimentos da região da APA do Pratigi, observou que para o Latossolo Vermelho-Amarelo, a concentração média de Cromo observada foi de 156,39 mg Kg<sup>-1</sup>. Mesmo admitindo o valor de referência proposto por Mascarenhas, o ponto 7 apresenta um valor totalmente fora dos padrões.

Os valores de Cu encontrados no sedimento da bacia variaram de 23,8 mg Kg<sup>-1</sup> a 81,25 mg Kg<sup>-1</sup>. O menor valor, no ponto 7 foi próximo ao encontrado por Leão et. al (2021), esta bacia se apresenta bastante antropizada devido a atividade mineradora, por outro lado o ponto 7 ocorre em uma nascente no meio de uma plantação de cacau. O maior valor para Cu foi encontrado no Ponto 3, no centro da cidade, já no local em que ocorre a intrusão da maré durante a cheia.

O CONAMA 454/12, estabelece para sedimentos de nível 1, aqueles que indicam valores seguros e sem atividade negativa para a biota, um valor inferior a 35,7 mg Kg<sup>-1</sup>, por

outro lado, o nível 2 aparece com valores acima de  $197 \text{ mg Kg}^{-1}$ . Partindo desse pressuposto, apenas o ponto 7 está com valores inferiores ao nível 1, porém nenhum dos demais pontos da bacia apresentou valores que pudessem colocar em risco as espécies presentes.

Os valores de Cu dos sedimentos analisados no presente estudo, foram próximos aos encontrados em áreas com forte componente urbano, com lançamentos de efluentes domésticos e industriais, como os Rios Xiangjiang (HUANG et al 2020) com  $71.29 \text{ mg Kg}^{-1}$  na China. Por outro lado, o valor encontrado foi pouco superior à média presente no Rio Juliana, Bahia, (MASCARENHAS et. al 2019) com  $42,35 \text{ mg Kg}^{-1}$ , essas bacias fazem parte do estuário de Serinhaém e possuem características físicas muito parecidas, porém nas questões de uso do solo, pela sede do município de Ituberá estar situada no Rio dos Cágados, a área urbana e as atividades agrícolas da área de estudo são mais intensificadas.

Para o Níquel, tivemos um comportamento parecido com o Cromo, onde as concentrações apresentaram valores constantes, com exceção às três nascentes. Para este elemento, tivemos o menor valor no Ponto 04, com  $8,43 \text{ mg Kg}^{-1}$  e o maior no Ponto 8, com  $129,12 \text{ mg Kg}^{-1}$ . As concentrações das demais nascentes, dos pontos 6 e 8 foram de  $52,71 \text{ mg Kg}^{-1}$  e  $56,6 \text{ mg Kg}^{-1}$  respectivamente, mostrando uma tendência de alta para os dados desses pontos.

Com relação ao estudo de Mascarenhas (2018), para os valores de referência de qualidade dos sedimentos, para o Latossolo Vermelho-Amarelo, foi observada uma concentração média de  $13,94 \text{ mg Kg}^{-1}$  para o Ni. Tomando este valor como padrão para o tipo de solo presente na bacia, com exceção dos pontos 4 e 5, todos os demais tiveram concentrações consideravelmente superiores, apresentando uma média de  $43,09 \text{ mg Kg}^{-1}$ .

Os valores de Ni apresentaram uma média próxima aos valores encontrados para os rios Xiangjiang (HUANG et al, 2020) com  $36,29 \text{ mg Kg}^{-1}$  na China, e o Conceição (LEÃO et. al, 2021) em Minas Gerais, com uma concentração média de  $62,3 \text{ mg Kg}^{-1}$ , este último possui valores mais altos devido a características da bacia, o processo de mineração de ferro e ouro ao longo da bacia do Rio Conceição propiciou altos valores de metais. Devido à proximidade desses valores, a bacia do Rio dos Cágados apresenta valores de níquel que indicam fontes não naturais desse elemento.

A bacia do Rio dos Cágados possui valores de Ni muito superior ao encontrado no Rio Juliana (MASCARENHAS et. al, 2019) com  $13,57 \text{ mg Kg}^{-1}$  e no Estuário de Serinhaém (CARNEIRO et al, 2021) com  $9,71 \text{ mg Kg}^{-1}$ , em sua proximidade. embora não haja nenhuma indicação de contaminação da área, os valores seguem fora da normalidade. Segundo os valores considerados normais pelo estudo de Mascarenhas (2018), o Ni para a região com Latossolo Vermelho-Amarelo é de  $14,53 \text{ mg Kg}^{-1}$ , embora não haja nenhum indicativo de contaminação na área, os valores encontrados não condizem com o que descrito em literatura para a área.

Durante todo o percurso analisado do Rio dos Cágados, houve variação frente ao CONAMA 454/12, que estabelece para sedimentos de nível 1 valores inferiores a 18,0 e nível 2 superiores a 315,0, dessa forma os pontos 4 e 5 apresentaram valores de nível 1 e os demais dentro do intervalo dos níveis 1 e 2. Isso indica que não existe local com grande chance de impactos à biota devido às concentrações de Ni, estando os pontos 4 e 5 valores mais seguros para a biota.

Para a concentração de Zn presente na área, tivemos uma média de  $105,40 \text{ mg Kg}^{-1}$ , variando de  $47,36 \text{ mg Kg}^{-1}$  a  $222,10 \text{ mg Kg}^{-1}$ . A menor concentração foi encontrada no ponto 4, na cachoeira Castro Alves, já a maior concentração foi no Ponto 2, na saída do dique, a concentração do Ponto 3 também foi alta, próxima a do ponto 2 com  $203,41 \text{ mg Kg}^{-1}$ .

Segundo o CONAMA 454/12, os valores de Zinco para a bacia do Rio dos Cágados apresentaram valores de nível 1, em todos os pontos, com exceção dos pontos 2 e 3, que ficam entre os níveis 1 e 2. Estes pontos podem se correlacionar da seguinte maneira, são pontos de exutório, a bacia do Rio dos Cágados durante a maré cheia é invadida, e os pontos 2 e 3 representam os locais onde ocorre essa intrusão. Por serem os pontos próximo ao lançamento para o estuário, estes podem acabar acumulando o sedimento dos demais.

O valor médio de concentração de Zinco na região do Rio dos Cágados está próximo ao encontrado para o Rio Juliana (MASCARENHAS et. al, 2019), com  $133,55 \text{ mg Kg}^{-1}$ . Esta bacia pertence à mesma região da área de estudo e apresenta atividade agrícola ao seu entorno com características bem próximas, às comunidades que residem nas margens do Rio Juliana não possui qualquer tratamento de seus efluentes, tendo provável contaminação por agrotóxicos e por lançamento de efluentes sanitários. Por outro lado, a concentração

encontrada para o presente estudo é inferior à presente no Rio Xiangjiang, que apresenta um valor de 257,17 mg Kg<sup>-1</sup> este estando ligado a intensa urbanização e a atividade agrícola da parte alta da bacia.

Os valores de Chumbo encontrados na Bacia do Rio dos Cágados variaram entre 8,33 e 67,79 mg Kg<sup>-1</sup>, com uma média de 32,83 mg Kg<sup>-1</sup>. A menor concentração foi observada na nascente do ponto 6, em uma área urbana com bastante fragmentos florestais, porém também próxima a pequenas plantações de cacau. A maior concentração ocorreu na nascente do Ponto 8, no meio da mata fechada, sem nenhuma ação humana.

Em média, a bacia do Rio dos Cágados possui valores muito superiores ao encontrado nas bacias do Rio Juliana (MASCARENHAS et. al, 2019) com 17,2 mg Kg<sup>-1</sup> e do Estuário de Serinhaém (CARNEIRO et al, 2021) com 13,53 mg Kg<sup>-1</sup>. O local que mais se aproxima ao encontrado no presente trabalho é o Rio Conceição (LEÃO et. al, 2021) com 22,33 mg Kg<sup>-1</sup>, embora não haja relatos de mineração na bacia do Rio dos Cágados, estas compartilham valores próximos em alguns metais.

Tomando como base o CONAMA 454/12, os valores de Chumbo para a bacia do Rio dos Cágados apresentaram valores de nível 1, em todos os pontos, com exceção dos pontos 3 e 8. Estes pontos não possuem características semelhantes, enquanto um observa uma forte atividade urbana, o ponto 8 é uma nascente preservada. Segundo o estudo de Mascarenhas (2018), os valores médios para latossolo vermelho-amarelo foram de 9,05, valores muito menores do que os observados na bacia do Rio dos Cágados. Embora sejam valores altos, o fato do maior ser observado no Ponto 8 permite supor que a origem para os valores de Chumbo na bacia é natural.

Os elementos como Níquel, Cromo e Zinco são importantes para as plantas e são, por muitas vezes presentes em compostos utilizados como fertilizantes inorgânicos e corretivos. Devido a deficiência de elementos presentes no Latossolo, os fertilizantes e agrotóxicos são soluções utilizadas para o manejo das culturas (KER, 1997).

A cultura da região é de pequenas comunidades agrícolas, com forte presença de assentamentos rurais ligadas principalmente a atividades agroecológicas, havendo também monoculturas em fazendas mais estruturadas. O uso de agrotóxicos na região está presente em todas as culturas, sejam por fertilizantes, adubos ou fungicidas para o controle de pragas,

devido a tradições antigas de plantio, bem como a falta de apoio técnico, toda a região sofre com carência de especialização na área de agronomia (EPIFANIA et al. 2021). Nesse sentido, o uso indiscriminado de agrotóxicos nas comunidades rurais surge como uma possível corte de metais traço na região, já que ao longo do rio existem muitas propriedades rurais.

#### 5.4. Análise Estatística dos Parâmetros Físico-Químicos

As relações entre os elementos ocorrem de várias formas, bem como as formas com que estes interagem entre si. Nesse sentido, a Tabela 16 apresenta os valores de correlação de Spearman para os parâmetros de água analisados, destacando aqueles que tiveram valores de  $p > 0,05$ .

Tabela 16: Relação entre os parâmetros presentes na água

	Al	Fe	Mn	P	Zn	DBO	Col. Term	Col. Total	pH	T °	Cond. Elt.	OD	Salinidade
Al	-												
Fe	0,178	-											
Mn	-0,113	<b>0,826*</b>	-										
P	0,875	-0,039	-0,170	-									
Zn	0,596	-0,293	-0,270	0,697	-								
DBO	0,770	0,203	0,277	0,789	<b>0,832*</b>	-							
Col. Term	0,516	-0,486	-0,334	0,676	0,577	0,725	-						
Col. Total	0,339	-0,116	0,092	0,446	0,647	0,721	0,754	-					
pH	-0,516	-0,543	-0,516	-0,541	-0,698	-0,493	0,086	-0,203	-				
T °	0,698	-0,029	0,030	0,845	<b>0,941*</b>	0,696	0,486	0,609	-0,771	-			
Cond. Elt.	-0,213	0,543	0,698	-0,169	-0,213	0,319	0,086	0,116	0,029	-0,257	-		
OD	-0,092	-0,203	-0,216	-0,309	-0,031	-0,088	0,116	0,397	0,406	-0,174	-0,319	-	
Salinidade	0,742	-0,213	-0,097	0,898	<b>0,870*</b>	<b>0,893*</b>	<b>0,880*</b>	0,770	-0,395	0,820	0,030	-0,092	-
Clorofila	0,109	-0,371	-0,062	0,078	0,178	0,377	0,771	0,580	0,429	0,143	-0,257	0,638	0,516

\* =  $p < 0,05$

Fonte: o Autor

As correlações não paramétricas entre os parâmetros estudados demonstraram diversas correlações positivas existentes, e com desempenho muito bom segundo a Classificação de Hopkins (Tabela 6). Temos assim: Fe e Mn, Zn e DBO, Salinidade com Zinco, DBO e Coliformes Termotolerantes.

Dentre essas correlações vale destaque para Ferro e Manganês, uma vez que estes são do grupo dos siderófilos, segundo classificação de Goldschmidt, e tendem a ocorrer juntos de forma natural, indicando que os teores de Fe e Mn presentes no Rio possuem origem natural (REIS, ROESER & SANTIAGO, 2020). No geral a ocorrência destes elementos na bacia estão ligados principalmente ao tipo de solo presente, já que os Latossolos possuem alta concentração de Fe e Mn em sua composição (CARVALHO, VILAS BÔAS & FADIGAS, 2013).

Observando Tabela 16, é visto uma correlação positiva da Salinidade com Zinco (0,871), DBO (0,893) e Coliformes Termotolerantes (0,880). Tomando em vista que as regiões com maior salinidade ficam na saída de drenagem (ponto 1), na saída do dique (ponto 2) e no exutório do rio (ponto 3) temos as regiões mais densamente urbanizadas como visto na Figura 26, e que estas regiões possuem maior influência da urbanização. Temos então que as correlações fortes entre a salinidade e Zn, DBO e Coliformes Termotolerantes podem estar relacionadas com a intensa urbanização da região onde ocorre intrusão salina na bacia, com lançamento de efluentes in natura já que não existe rede de coleta e tratamento de esgoto no município.

Uma outra correlação importante de observar é entre o Zinco e a DBO (0,831), indicando que pode estar havendo lançamento desse metal no ambiente de forma antrópica. Os lançamentos de efluentes urbanos e o carreamento dos nutrientes com origem em atividades agrícolas estão diretamente ligados ao aumento da DBO na água (VON SPERLING, 1996), podendo estas estarem ligadas ao aporte de Zn no ambiente.

Um fator que está diretamente ligado aos metais é sua mobilidade, a mobilidade do elemento depende do pH. Em locais neutros ou alcalinos, os metais-traço tendem a permanecer ligados aos argilominerais. A mobilidade relativa dos óxidos de alumínio e ferro das rochas no processo natural de intemperismo é baixa, sendo assim, os metais ligados às argilas tendem a sedimentar (SOLOMONS & FÖRSTNER, 1984). Nesse sentido, Tabela 17 apresenta as correlações entre os elementos analisados nos sedimentos desconsiderando aqueles que tiveram valores de  $p > 0,05$ . Na parte superior da tabela é possível observar o valor de  $p$  e na inferior a força das correlações.

Tabela 17: Relação entre os parâmetros presentes nos sedimentos

	Al	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	P	Pb
Al								
Cr	0,619							
Cu	-0,595	-0,071						
Fe	0,524	0,643	0,238					
Mn	-0,238	0,310	<b>0,833*</b>	0,619				
Ni	<b>0,738*</b>	<b>0,905*</b>	-0,357	0,381	0,000			
P	-0,286	-0,119	0,690	0,143	0,429	-0,238		
Pb	-0,310	-0,024	0,000	-0,548	-0,333	0,071	0,333	
Zn	-0,024	0,071	0,524	0,333	0,476	0,000	<b>0,905*</b>	0,167

\* = p <0,05

Fonte: o Autor

Com relação aos metais estudados nos sedimentos da Bacia do Rio dos Cágados à existência de correlações positivas, e com grau de desempenho muito bom segundo a Classificação de Hopkins (Tabela 6).

Os metais-traço no ambiente, quando imobilizados tendem a ficar ligados a argilas dos sedimentos, principalmente nos óxidos de Al, Fe e Mn. A existência de uma forte correlação entre os elementos Al e Ni (0,738) e Mn e Cu (0,833), indicam a presença de argilas com óxidos destes elementos, apresentando para quais argilas existe maior tendência de ligamento nos sedimentos da bacia, estando imobilizados e não representando problemas ao ambiente (SOLOMONS & FÖRSTNER,1984).

A correlação forte entre P e Zn indica que uma das fontes de Zn no ambiente pode ser o lançamento de esgotamento sanitário ou aporte através de suplementação de atividades agropecuárias, que são algumas das principais fontes de P no ambiente (VON SPERLING, 1996).

A forte correlação entre Cr e Ni representa que a presença destes elementos possui origem natural. Segundo Reis, Roeser & Santiago (2020), o comportamento dos elementos os elementos Cromo e Níquel são elementos classificados como calcófilos por Goldshmidt, nesse sentido, eles ocorrem naturalmente juntos no ambiente e sua presença pode estar relacionada a decomposição de rochas do tipo xisto e metagrauvaca (REIS, ROESER & SANTIAGO, 2020). Segundo a EMBRAPA (2000) os latossolos Vermelho e Vermelho-Amarelo possuem rochas do tipo mica-clorita-xisto, arenito, ardósia, etc, corroborando com a origem natural do Cromo e Níquel presente na bacia.

Segundo Mascarenhas (2018), as concentrações naturais de metais nos solos da APA do Pratigi, para o Latossolo Vermelho-amarelo, seguem a ordem Al > Fe > Cr > Mn > Zn > Ni > Pb > Cu > Cd, nesse sentido, os valores encontrados no presente estudo segue outro ordenamento, sendo Al > Fe > Cr > Mn > Zn > Cu > Ni > Pb > Cd.

### 5.5. Caracterização de Uso do Solo e dos Parâmetros de Qualidade da água

Para avaliar a relação entre o uso e ocupação do solo e a qualidade da água e sedimentos, a bacia do Rio dos Cágados foi dividida em diferentes classes com áreas definidas a partir dos pontos de coleta como visto no tópico 5.1, considerando os parâmetros de qualidade da água obtidos no 5.2. e dos sedimentos no 5.3.. As análises de correlação entre a qualidade da água, sedimentos e os diferentes tipos de uso do solo por meio do teste de correlação de Spearman podem ser vistos nas Tabela 18 e Tabela 19 destacando aqueles que tiveram valores de  $p < 0,05$ .

Tabela 18: Relação entre uso e ocupação do solo e os parâmetros presentes na água

	Al	Fe	Mn	P	Zn	DBO	Col. Total
Área Urbana	0,686	0,151	-0,124	0,737	0,147	0,754	0,714
Agropecuária	0,464	-0,347	-0,432	0,514	<b>0,850*</b>	<b>0,928*</b>	0,771
Vegetação Natural	-0,546	0,036	0,148	-0,592	<b>-0,774*</b>	<b>-0,986*</b>	-0,657
Sistemas Agroflorestais	-0,382	-0,048	-0,247	-0,514	-0,038	-0,696	-0,829
	Col. Term	pH	T °	Cond. Elt.	OD	Salinidade	Clorofila
Área Urbana	0,290	-0,200	0,429	0,371	-0,522	0,759	-0,192
Agropecuária	0,812	-0,486	0,829	-0,029	0,116	0,941	-0,048
Vegetação Natural	-0,754	0,600	-0,771	-0,257	0,058	<b>-0,880*</b>	0,214
Sistemas Agroflorestais	-0,348	0,086	-0,486	-0,086	0,348	-0,820	-0,548

\* =  $p < 0,05$

Fonte: o Autor

Tabela 19: Relação entre uso e ocupação do solo e os parâmetros presentes nos sedimentos

	Al	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	P	Pb	Zn
Área Urbana	-0,084	-0,287	0,359	0,036	0,168	-0,275	<b>0,743*</b>	-0,012	<b>0,731*</b>
Agropecuária	0,190	0,071	-0,286	0,143	-0,048	0,119	0,095	0,024	0,405
Vegetação Natural	-0,262	0,071	0,357	-0,095	0,238	0,000	-0,190	-0,048	-0,429
Sistemas Agroflorestais	0,048	-0,048	-0,143	0,405	0,167	-0,238	-0,452	-0,619	-0,310

---

\* = p <0,05

Fonte: o Autor

A influência das atividades humanas frente a qualidade da água e sedimentos na bacia do Rio dos Cágados pode ser observada a partir das Tabela 18 e Tabela 19. As correlações positivas entre os parâmetros estudados com a área urbana e agropecuária demonstram como as ações antrópicas interferem nesse sistema.

Dentre as correlações, os valores positivos de Zinco (0,730) e Fósforo (0,742) com a área urbana demonstram que uma possível origem antrópica para estes elementos na água está ligada às atividades urbanas, como o lançamento de efluentes domésticos no Rio.

O lançamento de efluentes nos corpos hídricos segue sendo um dos principais impactantes na redução da qualidade da água. O aumento da DBO, e nutrientes como N, P e K estão associados diretamente a problemas de infraestrutura urbana, como invasão de locais nas margens de rios e o lançamento inadequado de esgotamento sanitário nos corpos hídricos, além de despejos de efluentes agrícolas, e o uso indiscriminado de fertilizantes (MENEZES et. al, 2016).

Nesse sentido, os valores para correlação de Spearman entre área urbana com P (0,742) representam como este problema está presente na bacia do Rio dos Cágados. O lançamento dos efluentes ligados a atividades urbanas da bacia já mostra efeitos negativos, tornando um problema para o município e principalmente para as comunidades que estão ligadas ao rio. Já o aumento da DBO relacionada às atividades agropecuárias (0,927) esta tem possível origem no lançamento de esgotamento sanitário nas comunidades rurais ao longo da bacia, além de despejos indevidos de atividades como piscicultura, presente na parte alta da bacia.

As fortes correlações do Zinco, tanto dissolvido em água com a agropecuária (0,85) quanto sua presença de sedimentos na área urbana (0,73) indicam que a presença desse elemento no ambiente do Rio dos Cágados está muito ligada à interferência antrópica no ambiente. O Zinco, embora tenha uma forte presença, na bacia, possui teores menores do que o encontrado no Rio Juliana (MASCARENHAS et. al 2019), indicando que mesmo com aporte, este pode estar seguindo os padrões das bacias da região.

A Vegetação Natural possui correlação negativa para com o Zinco dissolvido em água (-0,772), DBO (-0,985) e Salinidade (-0,880) indicam que a água do ambiente antropizado segue com menos qualidade do que a de regiões mais preservadas da bacia.

Embora a relação da salinidade esteja mais ligada a urbanização das regiões mais próximas ao estuário.

## 6. CONCLUSÕES

A classificação supervisionada na Bacia do Rio dos Cágados feita através da metodologia K-Média observou excelentes valores de acurácia. Esta classificação nos permitiu observar os diferentes usos de solo que influenciam nos pontos de estudo. A bacia permanece em sua maior porção natural, porém a agropecuária e os sistemas agroflorestais abrangem uma região considerável na bacia. A área urbana se limita a apenas 2,08% da área, porém tem grande impacto na qualidade de água e sedimentos da bacia

A bacia do Rio dos Cágados apresentou valores de qualidade da água em acordo com os valores definidos pelo CONAMA 357/05, com exceção dos valores de coliformes termotolerantes. Este parâmetro acaba se tornando um risco, principalmente em teores altos como o presente na bacia em estudo, podendo causar graves problemas de saúde às comunidades que vivem à beira do corpo hídrico, necessitando de uma intervenção no local para trazer segurança ao ambiente e a população.

No que diz respeito a qualidade de sedimentos, o alto teor de Fe, Mn e Al representam um valor já esperado devido ao tipo de solo presente na bacia, e isso acaba sendo um motivo para uma melhor observação da área, já que estes elementos são conhecidos por se ligarem a metais-traço. Para os valores de Cu, Ni, Zn e Pb, segundo o CONAMA 454/12, não há um teor de metal-traço que cause provável impacto negativo a biota, entretanto os valores de Cr presentes na bacia representam valores que podem causar danos a comunidade biológica.

A relação entre os metais demonstra que estes estão ligados aos óxidos, presentes na fração de argila dos sedimentos. Devido ao pH da região, os metais-traço estão imóveis, e possuem origem natural relacionados aos processos geoquímicos geogênicos da geologia local.

Dos elementos analisados, com exceção dos valores de Cr e Zn, os demais estão de acordo com a legislação e a literatura pesquisada. Não houveram indícios de contaminação para Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni e Pb, porém para Zn e P, a partir dos valores de correlação de Spearman obtido no trabalho, existe uma possível contaminação destes elementos de origem

antrópica, tanto em atividades agropecuárias quanto o lançamento direto de efluentes na área urbana do município.

Existe também uma forte correlação entre a DBO e Zn com a agropecuária, indicando que está havendo lançamento indevido destes no ambiente, podendo estar ligada a falta de tratamento de esgoto das comunidades rurais, ou a criação de animais ao longo da bacia. O crescimento de atividades como a piscicultura surge como uma das possíveis causas para a contaminação por Zn e DBO na água da bacia do Rio dos Cágados.

## 7. REFERÊNCIA

ALEXANDRINO, R. C. S.; MARQUES, J. J. G. S. M.; SILVA, S. H. G.; SIMÃO, F. R. **The importance of the assessment of natural concentration of Pb in soils of the State of Minas Gerais**. Research, Society and Development, v. 9, n. 8, 2020.

ALMEIDA, R. A. S. **Índices de Qualidade de Água**. Editora UFRB, 1ª Edição, p. 15 - 27, Cruz das Almas, 2021.

AMÂNCIO, D. V.; COELHO, G.; MARQUES, R. F. P. V.; VIOLA M. R.; MELLO, C. R. **Qualidade da água nas sub-bacias hidrográficas dos rios Capivari e Mortes, Minas Gerais**. Revista Scientia Agraria, Vol. 19, n. 1, 2018.

Badri M. A.; S.R.Aston S. R. **Observations on heavy metal geochemical associations in polluted and non-polluted estuarine sediments**. Environmental Pollution Vol. 6, p. 181-193, 1983.

BRASIL. Instituto de Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de uso da terra**. 3ª Edição, IBGE, Diretoria de Geociências. Rio de Janeiro; IBGE, 2013.

BRASIL. Lei Nº 9433 de 8 de janeiro de 1997. **Institui a política nacional de recursos hídricos**. Brasília, 1997.

BRITO, D. M. C.; DA SILVA, E. A. C.; NETO, F. O. L. **Gestão dos recursos hídricos e sustentabilidade ambiental**. Editora UNIFAP, Macapá, 2020.

CARNEIRO L. M.; DOURADO G. B.; DE CARVALHO C. E. V.; DA SILVA JÚNIOR J. B.; DE JESUS T. B.; HADLICH G. M. **Evaluation of the concentrations of elements at trace level in the Serinhaem River estuary, Bahia, Brazil, using chemometric tools**. Mar Pollut Bull. 2021

CARNEIRO, L. M.; DOURADO, G. B.; DE CARVALHO, C. E. V.; DA SILVA JÚNIOR, J. B.; TAÍSE BOMFIM DE JESUS, T. B.; HADLICH, G. M. **Evaluation of the concentrations of elements at trace level in the Serinhaem River estuary, Bahia, Brazil, using chemometric tools**. Marine Pollution Bulletin, Vol. 163, 2021.

CARVALHO, S. R.; VILAS BOAS, G. S.; FADIGAS F. S. **Concentrações Naturais de Metais Pesados em Solos Derivados de Sedimentos do Grupo Barreiras**. Cadernos de Geociências, Vol. 10, n. 2, p. 97-107, 2013.

CHAUDHARY, S.; WANG, Y.; DIXIT, A. M.; KHANAL, N. R.; XU, P.; YAN, K.; LIU, Q.; LU, Y. MING LI, M. **Eco-environmental risk evaluation for land use planning in areas of potential farmland abandonment in the high mountains of Nepal Himalayas**. Multidisciplinary Digital Publishing Institute: Sustainability, Vol. 11, 2019.

CHEN L.; ZHAO H.; SONG G.; LIU Y. **Optimization of cultivated land pattern for achieving cultivated land system security a case study in Heilongjiang Province, China**. Land Use Policy, Vol. 108, 2021.

CHENG, C. ZHANG, F. SHI, J., KUNG, H. **What is the relationship between land use and surface water quality? A review and prospects from remote sensing perspective**. Environmental Science and Pollution Research, Vol. 29 2022

CHI, Y., SHI, H., ZHENG, W., & SUN, J. **Multiple gradient effects on spatial distribution of island soil microbial biomas**. European Journal of Soil Biology, Vol. 83, p. 65–75, 2017.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente – Ministério do Meio Ambiente. **Resolução nº 357, de março de 2005 Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências**. P. 23, Brasília, 2005.

COSTA, A. C. G. **Desenvolvimento sustentável e tecnologia – Uma abordagem interdimensional**. Inclusão Social, Vol. 3, n. 1, p. 9-16, Brasília, 2008.

CPRM (SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL). Geologia e Recursos Minerais do Estado da Bahia. Sistemas de Informações Geográficas. Mapas na escala 1:100 0000, 2003.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Variabilidade mineralógica de latossolos da área da Embrapa Cerrados em relação aos do bioma cerrado**. Boletim de Pesquisa – EMBRAPA Cerrados, n.19. Planaltina, 2000.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Perdas de água e de sedimentos em uma topossequência sob as coberturas de pastagem e de mata nativa na sub-bacia do**

**Ribeirão das Posses, Município de Extrema, MG.** EMBRAPA, Comunicado Técnico do Comitê Local de Publicações da Embrapa Monitoramento por Satélite, 1ª Edição, p. 01-12, Campinas, SP, 2017.

EPIFANIA, A. G.; PEDROSA, C. M.; BORSOI, D. F.; BARCELOS, E. A. S. **Território, Cultura e (Des)Envolvimento no Baixo Sul da Bahia.** Editora Appris Ltda, 1ª Edição, p196, Curitiba, 2021.

FERREIRA, K. C. D.; LOPES, F. B.; ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; SILVA, G. S. **Adaptação do Índice de Qualidade de Água da National Sanitation Foundation ao Semiárido Brasileiro.** Revista Ciência Agrônômica, Vol.46, n2, p. 277-286, 2015.

FRANCO, C. L. B.; EL BIZRI, H. R.; E SOUZA, P. R.; FA, J. E.; VALSECCHI, J.; DE UZA, I. S.; DE QUEIROZ, H. L. **Community-based environmental protection in the Brazilian Amazon: Recent history, legal landmarks and expansion across protected areas.** Journal of Environmental Management, Vol. 287, 2021.

GUARDA, P. M.; RAMBO, M. K. D.; JACONI, A.; GUARDA, E. A.; SILVA, J. E. C. **Concentrations of toxic metals in water, soil and sediment of rio Formoso, TO.** Research, Society and Development, v. 10, n. 14, 2021.

HUANG<sup>1</sup> Z.; LIU C.; ZHAO X.; DONG J.; ZHENG<sup>1</sup> B. **Risk assessment of heavy metals in the surface sediment at the drinking water source of the Xiangjiang River in South China.** Environmental Sciences Europe 32, 23, 2020.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2019 - Tabela 1613 - Área Destinada à Colheita, Área Colhida, Quantidade Produzida, Rendimento Médio e Valor da Produção das Lavouras Permanentes.** Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1613>>. Acesso em: 03 Fev. 2022.

IUPAC. **International Union of Pure and Applied Chemistry.** HEAVY METALS”—A MEANINGLESS TERM? (IUPAC Technical Report). Pure Appl. Chem, Vol. 74, n. 1, p. 793–807, 2002.

Kalyan Mahata, Rajib Das, Subhasish Das and Anasua Sarkar

KER, J. C. **Latossolos do Brasil: uma Revisão.** GEONOMOS, Vol. 5, n. 1, p. 17-40, 1997.

LEÃO, L.P.; DA COSTA, R.D.V.F.; LEITE, M.G.P.; NALINI JÚNIOR, H.A.; FONSECA, R.M.F. **Distribution and Assessment of Trace Elements Contamination in Sediments of Conceição River Basin, Brazil.** Geosciences, 2021, 11, 236.

LIMA, R. N. S.; RIBEIRO, C. B. M.; BARBOSA, C. C. F.; FILHO, O. C. R. **Estudo da Poluição Pontual e Difusa na Bacia de Contribuição do Reservatório da Usina Hidrelétrica de Funil Utilizando Modelagem Espacialmente Distribuída em Sistema de Informação Geográfica.** Revista Brasileira de Engenharia Sanitária Ambiental, Vol.21, n.1, p. 139-150, 2016.

LOU, Y.; YANG D.; ZHANG P.; ZHANG Y.; SONG M.; HUANG Y.; JING, W. **Multi-scenario simulation of land use changes with ecosystem service value in the Yellow River Basin.** Multidisciplinary Digital Publishing Institute: Land, Vol. 11, 2022.

MAHATA, K.; DAS, R.; DAS, S.; SAKAR, A. **Land Use Land Cover map segmentation using Remote Sensing: A Case study of Ajoy river watershed, India.** Journal of Intelligent Systems, Vol. 1, 2020.

MARTINS C. A. S.; NOGUEIRA, N. O.; RIBEIRO P. H.; RIGO, M. M.; CANDIDO, A. O. **A Dinâmica de Metais-Traço no Solo.** R. Bras. Agrociência, Vol. 17, n. 3-4, p. 383-391, 2011.

MARTINS, R. O., BRAIT, C. H. H., SANTOS, F. F. **Avaliação do Teor de Metais Pesados e de Parâmetros Físico-Químicos da Água e Sedimento do Lago Bonsucesso, Jataí – GO.** Revista Geoambiente On-line, n.29, p. 88-106, 2017.

MASCARENHAS, R. B.; ARAGÃO, I. R.; REIS, P.; DE JESUS, T. B. **Análise de metais-traços em sedimentos da APA do Pratigi, Bahia.** Sitientibus. Serie Ciências Biológicas, n.53, p. 32-37, 2019.

MELLO, K.; TANIWAKI, R. H.; DE PAULA, F. R.; VALENTE, R. A.; RONDHIR, T. O.; MACEDO, D. R.; LEAL. C. G.; RODRIGUES, C. B.; HUGHES. R. M. **Multiscale land use impacts on water quality: Assessment, planning, and future perspectives in Brazil.** Journal of Environmental Management, Vol. 270, 2020.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. **Introdução ao Processamento de Imagens de**

**Sensoriamento Remoto.** Editora UNB, 1ª Edição, Brasília, 2012.

MENEZES, J. P. C.; BITTENCOURT, R. P.; FARIAS, M. S.; BELLO, I. P.; FIA, R.; OLIVEIRA, L. F. C. **Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana.** Rev. Bra. De Eng Sanit Ambient, Vol. 21, n.3, p. 519-534, 2016.

MILHOME, M. A. L.; HOLANDA, J. W. B.; DE ARAÚJO NETO, J. R.; DO NASCIMENTO, R. F. **Diagnóstico da Contaminação do Solo por Metais Tóxicos Provenientes de Resíduos Sólidos Urbanos e a Influência da Matéria Orgânica.** Rev. Virtual Química Vol. 10, n. 01, p. 59-72, 2018.

NASCIMENTO, B. L. M.; GOMES, D. C. S.; COSTA, G. P.; SANTOS, L. C. A.; OLIVEIRA J. D. **Comportamento e Avaliação de Metais Potencialmente Tóxicos (Cu (II), Cr (III), Pb(II) e Fe(III)) em Águas Superficiais dos Riachos Capivara e Bacuri Imperatriz-MA, BRASIL.** Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, Vol.20, n.3, p. 369-378, 2015.

PARK, M.; CHO, Y.; SHIN, K.; SHIN, H. KIM, S.; YU, S. **Analysis of water quality characteristics in unit watersheds in the Hangang Basin with respect to TMDL implementation.** Multidisciplinary Digital Publishing Institute: Sustainability, Vol. 13, 2021.

PAULA, L. R.; CESAR, K. K. F. A.; BATISTA A. K. R.; SIQUEIRA F. F. F. S.; LIMEIRA FILHO, D.; FERREIRA M. F. R.; ALMEIDA M. A. G.; NUNES, L. A. G.; SOARES, J. P.; DE AZEVEDO, C. A. S., DA SILVA F. L. **Physical-chemical analysis of the water quality of the Itapecuru River in the municipality of Caxias-MA.** Research, Society and Development, Vol. 10, n. 15, 2021.

PINTO-COELHO, R. M.; HAVENS, K. **Crise nas Águas: Ciência e Governança Juntos Evitando Conflitos Gerados Pela Escassez e Pela Perda da Qualidade das Águas.** Recóleo Coleta e Reciclagem de Óleos Vegetais Editora, Ltda 1ª Edição, p47, Belo Horizonte, 2015.

PIRATOBA, A. R. A.; RIBEIRO H. M. C.; MORALES, G. P.; GONÇALVES, W. G. **Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, PA, Brasil.** Rev. Ambient. Água Vol. 12 n. 3, 2017.

REIS A. D.; ROESER H. M. D.; SANTIAGO A. F. **Environmental impacts at the bottom sediments in a Doce River tributary after the Fundão dam rupture. Research, Society and Development**, Vol. 9, n. 2, 2020.

REIS, M.M.; TUFFI SANTOS, L.D.; DA SILVA A. J.; PINHO, G. P.; MONTES, W. G. **Metal Contamination of Water and Sediments of the Vieira River, Montes Claros, Brazil.** Arch Environ Contam Toxicol, Vol. 77, p. 527–536, 2019.

Sabir, M.; Baltrenaite-Gedienė, E.; Ditta, A.; Ullah, H.; Kanwal, A.; Ullah, S.; Faraj, T.K. **Bioaccumulation of Heavy Metals in a Soil–Plant System from an Open Dumpsite and the Associated Health Risks through Multiple Routes.** Sustainability, Vol. 14, 2022.

SILVEIRA A. D. S.; OKUMURA M. L. H. S.; YAMAGUCHI, N. U. **Avaliação preliminar da qualidade das águas do ribeirão Morangueiro por descarte irregular de lodo de estação de tratamento de água.** Anuário do Instituto de Geociências - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Vol.44, 2021;

SOLOMONS, W.; FÖRSTNER U. **Metals in the Hydrocycle**, Editora Springer, 1ª Edição, Berlin, 1984.

SOUZA, B. L. M.; PELEJA, J. R. P.; SOUSA, B. L. M.; GOCH, Y. G. F.; RIBEIRO, J. S.; PEREIRA, B. S.; LIMA, F. C. C.; LEMOS, E. J. S. **Índice de Estado Trófico de Lagos de Águas Claras Associados ao Baixo Rio Tapajós, Amazônia, Brasil.** Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, Vol.9, n7, p. 76-89, 2018.

SOUZA, V. L. B., LIMA, V. L., HAZIN, C. A., FONSECA, C. K. L., & SANTOS, S. O. **Biodisponibilidade de Metais-traço em Sedimentos: Uma Revisão.** Brazilian Journal of Radiation Sciences, Vol. 3, n,1, 2015.

VON SPERLING, M. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 3ª Edição. Editora UFMG, 1996. Pág. 137.

WOJCIECHOWSKA E.; NAWROT, N.; WALKUSZ-MIOTK, J.; MATEJ-ŁUKOWICZ, K.; PAZDRO, K. **Heavy Metals in Sediments of Urban Streams: Contamination and Health Risk Assessment of Influencing Factors.** Sustainability, Vol 11, 2019.

XIAO, L.; LEI, L.; PENG, L. LIN, Q.; NASELLI-FLORES, L. **Iron operates as an important factor promoting year-round diazotrophic cyanobacteria blooms in eutrophic reservoirs in the tropics.** *Ecological Indicators*, Vol. 125, 2021.

YANG, H.J.; KANG, T.-W.; CHOI, B.; HWANG, S.H.; SHIN, D.; PARK, W.-P. **Potential Sources of Heavy Metals in Sediments of an Urban-Agricultural Watershed and Relationship with Land Use Using a Statistical Approach.** *Sustainability*, Vol. 14, 2022.

ZHANG, Z.; JIN, J.; ZHANG, J.; ZHAO, D.; LI, H.; YANG, C.; HUANG, Y. **Contamination of Heavy Metals in Sediments from an Estuarine Bay, South China: Comparison with Previous Data and Ecological Risk Assessment.** *Processes*, Vol. 10, 2022.

## 8. ANEXOS

### ANEXO 1: VALORES DOS PARÂMETROS ANALISADOS PARA ÁGUA

Nº da Amostra	PARÂMETRO/	Alumínio	Cádmio	Cromo	Cobre	Ferro
	UNIDADE	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
	LQM (mg L <sup>-1</sup> )	0,10	0,01	0,01	0,01	0,10
	λ (nm)	Al 396.152	Cd 228.802	Cr 267.716	Cu 327.395	Fe 238.204
	DATA ANÁLISE	25/08/2021	25/08/2021	25/08/2021	25/08/2021	25/08/2021
P01-1		0,16	< 0,01	< 0,01	< 0,01	6,35
P01-2		0,26	< 0,01	< 0,01	< 0,01	4,06
P01-3		0,13	< 0,01	< 0,01	< 0,01	6,40
P02-1		< 0,10	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,10
P02-2		0,27	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,10
P02-3		0,24	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,10
P03-1		< 0,10	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,19
P03-2		< 0,10	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,19
P03-3		< 0,10	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,19
P04-1		0,10	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,36
P04-2		0,11	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,37
P04-3		< 0,10	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,26
P05-1		< 0,10	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,24
P05-2		< 0,10	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,21
P05-3		< 0,10	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,29
P06-1		< 0,10	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,10
P06-2		< 0,10	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,10
P06-3		< 0,10	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,11
P07-1		< 0,10	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,10
P07-2		< 0,10	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,10
P07-3		< 0,10	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,10
P08-1		0,12	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,20
P08-2		< 0,10	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,20
P08-3		< 0,10	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,19
Nº da Amostra	PARÂMETRO/	Manganês	Níquel	Fósforo	Chumbo	Zinco
	UNIDADE	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
	LQM (mg L <sup>-1</sup> )	0,01	0,02	0,10	0,01	0,01
	λ (nm)	Mn 257.610	Ni 231.604	P 177.434	Pb 220.353	Zn 213.857
	DATA ANÁLISE	25/08/2021	25/08/2021	25/08/2021	25/08/2021	25/08/2021
P01-1		0,05	< 0,02	< 0,10	< 0,01	0,04
P01-2		0,02	< 0,02	< 0,10	< 0,01	< 0,01
P01-3		0,05	< 0,02	0,14	< 0,01	0,02

P02-1	< 0,01	< 0,02	< 0,10	< 0,01	0,06
P02-2	< 0,01	< 0,02	0,16	< 0,01	< 0,01
P02-3	< 0,01	< 0,02	< 0,10	< 0,01	< 0,01
P03-1	0,01	< 0,02	< 0,10	< 0,01	0,02
P03-2	0,03	< 0,02	< 0,10	< 0,01	0,03
P03-3	0,02	< 0,02	< 0,10	< 0,01	0,02
P04-1	< 0,01	< 0,02	< 0,10	< 0,01	0,01
P04-2	0,02	< 0,02	< 0,10	< 0,01	0,03
P04-3	< 0,01	< 0,02	< 0,10	< 0,01	< 0,01
P05-1	< 0,01	< 0,02	< 0,10	< 0,01	< 0,01
P05-2	0,03	< 0,02	< 0,10	< 0,01	0,03
P05-3	0,02	< 0,02	< 0,10	< 0,01	0,01
P06-1	0,01	< 0,02	< 0,10	< 0,01	0,01
P06-2	< 0,01	< 0,02	< 0,10	< 0,01	< 0,01
P06-3	< 0,01	< 0,02	< 0,10	< 0,01	0,01
P07-1	0,02	< 0,02	< 0,10	< 0,01	0,02
P07-2	0,02	< 0,02	< 0,10	< 0,01	0,08
P07-3	0,01	< 0,02	< 0,10	< 0,01	0,02
P08-1	0,04	< 0,02	< 0,10	< 0,01	0,02
P08-2	0,04	< 0,02	< 0,10	< 0,01	0,02
P08-3	0,04	< 0,02	< 0,10	< 0,01	0,03

## ANEXO 2: VALORES DOS PARÂMETROS ANALISADOS PARA SEDIMENTOS

Nº da Amostra	PARÂMETRO/ UNIDADE	Alumínio (mg/Kg)	Cádmio (mg/Kg)	Cromo (mg/Kg)	Cobre (mg/Kg)	Ferro (mg/Kg)
	LQM (mg Kg <sup>-1</sup> )	5,00	0,25	0,25	0,25	5,00
	λ (nm)	Al 308.215	Cd 228.802	Cr 267.716	Cu 327.395	Fe 259.940
	DATA ANÁLISE	25/08/2021	25/08/2021	25/08/2021	25/08/2021	25/08/2021
	P01-1		120993,0	< 0,25	118,36	33,98
P01-2		120852,0	< 0,25	167,55	47,38	45215,8
P01-3		127744,0	< 0,25	120,12	34,93	40437,9
P02-1		84974,0	< 0,25	124,47	53,73	40317,0
P02-2		83357,5	< 0,25	128,89	55,80	40350,7
P02-3		107397,0	< 0,25	167,60	67,77	44646,8
P03-1		103194,0	< 0,25	226,14	104,87	47829,8
P03-2		83307,9	< 0,25	145,79	70,24	42219,4
P03-3		84320,2	< 0,25	147,21	68,63	42821,8
P04-1		51959,8	< 0,25	88,77	40,22	28772,6
P04-2		71648,2	< 0,25	115,10	71,39	34771,4
P04-3		57117,1	< 0,25	89,70	49,91	29579,9

P05-1		122030,0	< 0,25	113,78	59,22	44479,3
P05-2		114534,0	< 0,25	106,96	56,16	43419,2
P05-3		117649,0	< 0,25	109,16	55,85	43595,0
P06-1		122183,0	< 0,25	214,34	74,89	46671,5
P06-2		120618,0	< 0,25	213,87	74,74	46817,6
P06-3		123765,0	< 0,25	218,64	77,27	46475,2
P07-1		130530,0	< 0,25	760,61	23,69	46567,7
P07-2		134093,0	< 0,25	768,74	23,87	46013,5
P07-3		132959,0	< 0,25	774,09	24,13	46209,3
P08-1		110353,0	< 0,25	173,25	43,38	31717,8
P08-2		110768,0	< 0,25	184,64	44,47	32239,8
P08-3		135364,0	< 0,25	203,34	49,83	35175,4
Nº da Amostra	PARÂMETRO/ UNIDADE	Manganês (mg/Kg)	Níquel (mg/Kg)	Fósforo (mg/Kg)	Chumbo (mg/Kg)	Zinco (mg/Kg)
	LQM (mg Kg <sup>-1</sup> )	0,25	0,25	0,25	2,00	0,25
	λ (nm)	Mn 257.610	Ni 231.604	P 177.434	Pb 220.353	Zn 213.857
	DATA ANÁLISE	25/08/2021	25/08/2021	25/08/2021	25/08/2021	25/08/2021
P01-1		65,25	23,94	936,3	29,47	85,65
P01-2		93,18	35,47	1210,3	36,74	117,66
P01-3		69,22	24,83	970,8	28,10	86,72
P02-1		131,26	25,36	1121,3	31,62	204,23
P02-2		133,70	25,57	1132,8	34,31	205,01
P02-3		168,63	33,79	1416,9	38,48	257,07
P03-1		121,15	33,79	1702,2	68,78	261,98
P03-2		320,40	23,83	1144,1	47,40	176,85
P03-3		77,71	24,96	1179,4	51,57	171,41
P04-1		94,73	6,11	329,5	28,52	41,54
P04-2		135,19	12,19	523,9	31,51	56,94
P04-3		102,16	7,00	408,8	29,23	43,58
P05-1		148,90	14,13	577,6	13,80	69,56
P05-2		137,47	14,00	575,8	16,04	65,34
P05-3		145,11	13,92	599,2	16,51	68,01
P06-1		419,29	52,54	801,0	6,09	81,44
P06-2		408,57	52,29	834,8	10,48	78,11
P06-3		425,28	53,30	874,1	8,43	80,54
P07-1		135,63	128,30	373,1	17,55	64,22
P07-2		134,58	129,60	345,6	18,33	63,77
P07-3		139,41	129,47	385,9	17,43	65,39
P08-1		94,35	52,17	522,3	57,65	58,06
P08-2		96,87	52,77	549,7	61,10	58,59
P08-3		107,40	64,87	586,7	84,61	67,86

## ANEXO 3: CÓDIGO PARA CLASSIFICAÇÃO NÃO SUPERVISIONADA POR K-MÉDIA

Imports (2 entries)

```
var imageCollection: imageCollection “Sentinel-2 MSI: MultiSpectral Instrument, Level-2a”
```

```
var: imageVisParam B4, B3 and B2 from 500 to 2000
```

```
var image = ee.Image("COPERNICUS/S2/20190715T125311_20190715T125313_T24LVK").select('B2', 'B3', 'B4', 'B5', 'B6', 'B7', 'B8', 'B9', 'B11', 'B12');
print(image);
var bacias = "users/rafaelreiscabral/bacias"
var APA = ee.FeatureCollection(bacias).geometry()

var APA_bacias = image.clip(APA)
Map.addLayer (APA_bacias)

var training = APA_bacias.sample({
  region: APA,
  scale: 10,
  numPixels: 20000
});

// Instantiate the clusterer and train it.
var clusterer = ee.Clusterer.wekaKMeans(25).train(training);

// Cluster the input using the trained clusterer.
var Uso = APA_bacias.cluster(clusterer);

//var imageVisParam =
{"opacity":1,"bands":["B5","B4","B3"],"min":0.042402890246716424,"max":0.35574620606574103,"gamma":0.95};
//Map.centerObject(image, 10)

// Display the clusters with random colors.
Map.addLayer(Uso.clip(APA).randomVisualizer(), {}, 'clusters');

Export.image.toDrive({
  image: Uso,
  folder: 'gee',
  description: 'Uso_E_Ocupacao',
  region: APA,
  scale: 10,
  maxPixels: 1e13
})
```

Link para acesso:

[https://code.earthengine.google.com/?scriptPath=users%2Frafaelreiscabral%2Fava1%3AUSO\\_DO\\_SOLO](https://code.earthengine.google.com/?scriptPath=users%2Frafaelreiscabral%2Fava1%3AUSO_DO_SOLO)