**Universidade Federal do Sul da Bahia - UFSB**

**Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia - IFBA**

**Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias Ambientais - PPGCTA**

Adriana Tiemi Ramos Okumura

# DETERMINAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE UM RIO TROPICAL SOB A PERSPECTIVA DO USO DO SOLO E COBERTURA VEGETAL

Orientador: Prof. Dr. Allison Gonçalves da Silva

Coorientador: Prof. Dr. Elfany Reis do Nascimento Lopes

Coorientador: Prof. Dr. Nadson Ressyé Simões da Silva

PORTO SEGURO - BA
2020

Adriana Tiemi Ramos Okumura

# DETERMINAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE UM RIO TROPICAL SOB A PERSPECTIVA DO USO DO SOLO E COBERTURA VEGETAL

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Sul da Bahia e Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Ciências e Tecnologias Ambientais para obtenção do Título de Mestre em Ciências e Tecnologias Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Allison Gonçalves da Silva

PORTO SEGURO - BA

FEVEREIRO – 2020

**Ficha Catalográfica (solicitar à biblioteca)**

**DETERMINAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE UM RIO TROPICAL SOB A PERSPECTIVA DO USO DO SOLO E COBERTURA VEGETAL**

**Comissão Julgadora**

_____

**Prof. Dr. Marcus Luciano Souza de Ferreira Bandeira**

**IFBA**

_____

**Prof. Dr. João Batista Lopes da Silva**

**UFSB**

_____

**Prof. Dr. Fábio Allan Carqueija Amorim**

**UESC**

Aprovada em: dia mês ano (___/___/_____ )

Local da Defesa: UFSB

Dedico este trabalho a
todos aqueles que
contribuíram com sua
realização.

# AGRADECIMENTOS

À Deus por ter me dado força e sabedoria para superar os momentos de dificuldade, fazendo com que este ideal fosse alcançado.

Ao meu orientador, Allison Gonçalves, pela orientação, auxílio e disponibilidade em todos os momentos. Agradeço muito pelo seu jeito humilde, alegre e sincero. Deus não poderia ter colocado orientador melhor no meu caminho! Muito obrigada!

Ao meu coorientador preferido, Elfany Lopes, pela paciência e disposição a me ajudar durante este período. Agradeço de coração por todo ensinamento nessa jornada e por ter me ensinado a amar SIG.

Ao meu coorientador mais querido Nadson Simões, pelo jeito sereno, calmo e infinitamente educado. Grata eternamente pelos ensinamentos. Nunca imaginei aprender estatística de uma forma tão suave.

Aos meus melhores amigos: Reinaldo Brandi e Danillo Andrade, que estiveram presentes em todas as etapas, desde a seleção até a defesa. Rindo e chorando juntos sempre!

Às novas amizades que eu fiz nessa jornada: Leinah Silva e Ana Luiza Carvalho. Agradeço pela presença constante nos momentos em que mais precisei, principalmente naqueles que me desesperei. À todos os novos amigos que eu fiz, pelo carinho e companheirismo: Elissandro, Francis e Urânia.

Agradeço aos técnicos do IFBA: Jardel e Leonardo por sempre estarem me ajudando no laboratório.

Aos colegas Edney e Raquel Viana no auxílio das análises laboratoriais.

Ao meu noivo Thiago Ré por ter segurado a barra com toda paciência do mundo e por ter me apoiado sempre.

Deus é bom o tempo todo!! Agradeço a Deus por ter colocado os melhores ao meu lado durante essa etapa da vida, orientadores, amigos e aos membros da banca. Meu eterno obrigado!

***"Toda boa dádiva e todo dom perfeito são lá do alto, descendo do Pai das Luzes, em quem não pode existir variação ou sombra de mudança"***
***Tiago 1:17***

Este manuscrito está formatado segundo as normas da Revista Brasileira de Geografia Física

Disponível em: https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/about/submissions

# Sumário


| | |
|---|---|
| RESUMO | 10 |
| ABSTRACT | 11 |
| LISTA DE TABELAS | 12 |
| LISTA DE FIGURAS | 13 |
| LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS | 14 |
| Introdução | 16 |
| Material e Métodos | 17 |
| Resultados e Discussão | 22 |
| Conclusão | 29 |
| Referências | 30 |
| ANEXOS | 36 |

**Determinação da qualidade da água de um rio tropical sob a perspectiva do uso do solo e cobertura vegetal**


## RESUMO

A água tem o papel fundamental para o desenvolvimento econômico de uma nação, além de ser essencial para a vida de todos os seres vivos. Atividades antrópicas, como o uso do solo, causam alterações nos parâmetros da qualidade da água. Neste estudo, foi avaliada a variabilidade espacial e sazonal dos parâmetros físicos, químicos e biológicos e microbiológicos, bem como, as possíveis relações entre os padrões do uso do solo e cobertura vegetal em trechos da bacia hidrográfica do Rio dos Frades, Bahia. Foram analisados os parâmetros: oxigênio dissolvido, pH, sólidos totais, sólidos totais dissolvidos, turbidez, clorofila-*a*, demanda bioquímica de oxigênio, nitrito, nitrato amônia, nitrogênio total, fosfato, fósforo total, coliformes totais, coliformes termotolerantes, temperatura, salinidade, cloreto e condutividade elétrica. As concentrações determinadas foram comparadas com os padrões estabelecidos pela resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA nº 357/2005. Numa análise descritiva, os parâmetros oxigênio dissolvido, pH e demanda bioquímica de oxigênio ficaram em desacordo com valores estabelecidos pela legislação brasileira (CONAMA nº 357/2005), nos locais que sofre maior interferência das zonas urbanas dos municípios de Guaratinga e Itabela. A análise de componentes principais indicou que os parâmetros avaliados apresentam comportamento distinto de acordo com a precipitação, nos quais a série nitrogenada se correlacionou com o período chuvoso enquanto a turbidez com o período seco. A classificação supervisionada do uso do solo e cobertura vegetal, revelou a forte pressão antrópica sofrida pelo rio, causada principalmente pela agropecuária.



Palavras-chave: Recursos Hídricos, Sistema de informações Geográficas, Bacias Hidrográficas, Atividades Antrópicas

**Water Quality Assessment of a Tropical River from a Soil Usage and Vegetation Cover perspective**

## ABSTRACT

Water plays a fundamental role in the economic development of a nation and is essential to the life of all living beings. Anthropic activities, such as land use and occupation, cause changes in water quality values. In this study, we evaluated the spatial and seasonal variability of physical, chemical, biological and microbiological parameters, as well as possible relationships between land use patterns and vegetation cover in Rio dos Frades, south Bahia State, northeast of the Brazil. The selected versions were compared with the standards established by Environment National Council - CONAMA Resolution No. 357/2005. It was observed that the parameters dissolved oxygen, pH and biochemical oxygen demand were in disagreement with values established by the legislation, downstream of the urban areas of Guaratinga and Itabela municipalities cities. With the aid allowed, if the selected parameters affect the distinct behavior for each dry and rainy period, in which the nitrogen series correlate with the rainy period while the turbidity is with the dry period. With the help of tools from a Geographic Information System (GIS), a basin delimitation and a supervised classification of land use and vegetation cover were performed, revealing a strong anthropic pressure suffered by the river, mainly caused by agriculture.

Keywords: Water Resources, Geographic Information System, River Basins. Human Activities

# LISTA DE TABELAS

**Tabela 1**. Pontos amostrados ao longo do Rio dos Frades e suas coordenadas. ..... 19
**Tabela 2.** Parâmetros do IQA e seus respectivos pesos. ..... 20
**Tabela 3.** Parâmetros da qualidade da água do IQA e seus respectivos índices. ..... 20
**Tabela 4.** Classificação das águas naturais, de acordo com os valores do Índice de Estado Trófico (IET). .. 21
**Tabela 5.** Valores de IQA obtido nas quatro campanhas. ..... 22
**Tabela 6.** Valores de IET obtido nas quatro campanhas. ..... 23
**Tabela 7.** Estatística descritiva básica dos parâmetros analisados conforme a resolução do CONAMA 357/2005. ..... 24
**Tabela 8**. Quantitativo da área territorial ocupada por cada unidade do uso do solo e da cobertura vegetal. 28

# LISTA DE FIGURAS

**Figura 1.** Mapa de localização do Bacia do Rio dos Frades e distribuição dos pontos amostrais. ..... 17
**Figura 2.** Mapa de localização geográfica da RPGA IV ..... 18
**Figura 3.** Climatologia da pluviosidade (mm) média mensal no período 1988 – 2018..... 19
**Figura 4.** Série pluviométrica de Guaratinga no período de coleta. ..... 19
**Figura 5.** Análise dos Componentes Principais das 4 campanhas nos 12 pontos amostrais..... 27
**Figura 6.** Gráfico representando os valores do IQA..... **Erro! Indicador não definido.**
**Figura 7.** Mapa de uso do solo e cobertura vegetal da Bacia Hidrográfica do Rio dos Frades ..... 28

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA - áreas agricultáveis

AC - área campestre

ACP - Análise de Componentes Principais

AF - área florestada

AS - área de silvicultura

AU - área urbanizada

APHA - Associação Americana de Saúde Pública

BA – Bahia

CBH - Comitê de Bacia Hidrográfica

CE – Condutividade Elétrica

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CP – Componentes Principais

CT – Coliformes Totais

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

EMBASA - Empresa Baiana de Saneamento

EC – Estação chuvosa

ES – Estação Seca

ET – Coliformes Termotolerantes

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDH - Índice de Desenvolvimento Humano

INEMA – Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

IET – Índice de Estado Trófico

IQA – Índice de Qualidade da Água

$NH_4^+$ – Amônia

$NO_2^-$ – Nitrito

$NO_3^-$ – Nitrato

NT – Nitrogênio Total

MONITORA - Programa de Monitoramento da Qualidade da Água do Estado da Bahia

MSI - Instrumento Multiespectral

OD – Oxigênio Dissolvido

$PO_4^{3-}$ - Fosfato

pH – Potencial Hidrogeniônico

PT – Fósforo Total

RPGA-IV - Região de Planejamento e Gestão da Água IV

RVSRF - Refúgio de Vida Silvestre do Rio dos Frades

SAL – Salinidade

SIG – Sistemas de Informações Geográficas

ST – Sólidos Totais

STD – Sólidos Dissolvidos Totais

T°C – Temperatura (graus Celsius)

USGS - Serviço Geológico Americano

TURB – Turbidez

UTM – Sistema Universal Transverso de Mercator

WGS – Sistema Geodésico Mundial (*World Geodetic System*)

## Introdução

A bacia hidrográfica compreende uma área de escoamento natural da água da chuva, formado por um conjunto de redes de drenagens convergindo para um único ponto de saída, denominado exutório (Ding et al., 2016; Rocha, Cabral, Batista e Oliveira, 2019). Estes sistemas são altamente complexos, dinâmicos e heterogêneos (Vrebos, Beauchard, e Meire, 2017), cujo comportamento resulta da interação de fatores de origem natural e antrópicos, onde as atividades humanas interferem de forma direta ou indireta no funcionamento da bacia (Zeinalzadeh e Rezaei, 2017; Santos et al., 2019).

Os corpos hídricos no geral possuem papel fundamental para o crescimento da economia de uma nação, além do fornecimento de água para as atividades essenciais dos seres humanos. No entanto, as atividades humanas realizadas no seu entorno têm provocado significativa queda da qualidade da água e de biodiversidade, decorrente das alterações do ambiente físico, químico e biológico (Saltos, Rodríguez, Sucoshañay, e Bucaram, 2017; Dutta, Dwivedi, e Suresh Kumar, 2018). Tais atividades, incluem as intensas atividades agrícolas e urbanização (Liu, Shen, e Chen, 2018).

Diversos estudos têm demonstrado uma relação direta entre uso do solo e cobertura vegetal e as variações na qualidade da água. Freire e Castro, (2014) evidenciaram uma correlação forte e positiva (0,87) entre a degradação da água e atividades humanas, sendo o solo exposto à pastagem, áreas com maior representatividade para a degradação. Fia, et al. (2015) evidenciaram que a entrada de matéria orgânica e de nutrientes de origem doméstica, assim como atividades agropecuárias, na rede de drenagem reduziu a qualidade da água da área urbana em Lavras, Minas Gerais. Já Marmontel et al.(2018) comprovaram a importância da mata ciliar na contribuição para a adequação da qualidade da água conforme legislação ambiental. Devido à importância da água para as atividades humanas, as áreas urbanas, industriais, agrícolas ou de preservação estão inseridas no domínio das áreas hídricas e culminam na sua inserção em alguma bacia hidrográfica (Carletto e Oliveira, 2017). Essas áreas são adotadas como unidades físicas de planejamento, conservação, caracterização e monitoramento e, no Brasil, a Política Nacional dos Recursos Hídricos (Lei 9.433/1997), que estabelece dispositivos legais sobre a gestão dos recursos hídricos e institui a bacia hidrográfica como unidade de gestão em todo o território nacional (Brasil, 1997; Melo, Silva, Santos, e Santanta, 2016). O Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), por meio da Resolução nº 357 de 2005, estabeleceu o padrão de qualidade para a água doce, salobra e salina em território nacional, visando a garantia de água apropriada para o consumo humano e a saúde da população (BRASIL, 2005). Assim sendo, compreender e identificar as relações quantitativas entre uso do solo e cobertura vegetal e a qualidade da água são essenciais para a gestão integrada dos recursos hídricos (Silva et al., 2018; Rodrigues et al., 2018; Gu et al., 2019).

O monitoramento do uso da superfície terrestre pode ser realizado com o apoio de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e do Geoprocessamento. Essas ferramentas têm sido úteis ao monitoramento ambiental. Os SIGs permitem o processamento de elevada quantidade de informações e análise sistemática/integrada de dados espaciais (Wrublack et al., 2018).

Alguns estudos recentes fizeram uso dos SIGs para modelar a qualidade da água por meio de análises de imagens de satélites (Hamidi et al., 2017).

Os SIGs também permitem criar mapas de fragilidade ambiental, como corroboram Franco e autores (2012) que ao estudar a bacia hidrográfica do rio Almada na Bahia, comparou os mapas com a qualidade da água e constataram que quanto maior a área florestada, menor a fragilidade ambiental e consequentemente menor a perda da qualidade físico-química da água. No geral, a qualidade da água da bacia apresentou-se boa, apesar de ser uma bacia bastante antropizada.

O Programa de Monitoramento da Qualidade da Água do Estado da Bahia (MONITORA) instituído pela Lei Estadual nº10.432/06 (SEIA, 2019) e gerido pelo Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA) começou a monitorar os rios da Bahia a partir de 2007, no qual monitora 418 pontos, abrangendo 184 rios, 49 lagoas/lagos/barragens ou açudes, em 218 municípios. Um estudo realizado com dados do INEMA em uma bacia hidrográfica que engloba dez cidades na Bahia, apresentou boa qualidade para a água do rio, mesmo em locais sem sistema de esgotamento sanitário (Pessoa, Orrico, e Lordêlo, 2018). Em contrapartida, análises de parâmetros físico-químicos, metais e ânions, em uma secção do rio Grande, na Bahia, demonstrou a importância das estações de tratamento de descarte doméstico para a manutenção da qualidade da água (Varão, et al., 2019).

Na região Extremo Sul do Estado da Bahia, o Rio dos Frades apresenta-se como uma área hídrica de relevante investigação científica. Sua jusante encontra-se inserida na Unidade de Conservação Integral,

Refúgio de Vida Silvestre do Rio dos Frades (RVSRF). Já o seu entorno é caracterizado por múltiplos usos do solo e cobertura vegetal que culminam em distintos conflitos socioambientais, dentre eles, uso indiscriminado de agrotóxicos, extrativismo vegetal, desmatamento de remanescentes de Mata Atlântica, lançamentos de esgotos domésticos, lançamentos de efluentes líquidos industriais, disposição inadequada de resíduos sólidos, barramentos irregulares e mineração (COMMAI, 2016).

O Rio dos Frades é utilizado para o abastecimento urbano municipal pelas cidades de Guaratinga e Itabela, por meio de captação realizada pela Empresa Baiana de Saneamento (EMBASA), bem como a descarga dos efluentes domésticos, ocorrendo diversos conflitos socioambientais, reforçando a importância do estudo da sua qualidade no âmbito da gestão hídrica.

Considerando os múltiplos usos do rio e sua importância para a manutenção da biodiversidade aquática e do refúgio, o objetivo deste trabalho é caracterizar a variabilidade espacial e sazonal da qualidade da água no Rio dos Frades e identificar a relação entre os parâmetros físicos, químicos, biológicos e microbiológicos da água com o uso do solo e cobertura vegetal.

## Material e Métodos

***Caracterização da área de estudo*** - O Rio dos Frades situa-se ao extremo sul da Bahia, entre as coordenadas geográficas 16º45’ e 16º27’ de latitude Sul e os 39º04’ e 40º00’ de longitude Oeste, com extensão de 115 km, área de drenagem de 1698,51 km$^2$ e declividade de 0,003 m/m (Sarmento & Martins, 2009). Sua nascente encontra-se no município de Guaratinga (BA) e percorre os municípios de Itabela e Porto Seguro, passando por propriedades rurais, se estende pelo RVSRF e deságua no mar (Figura 1).

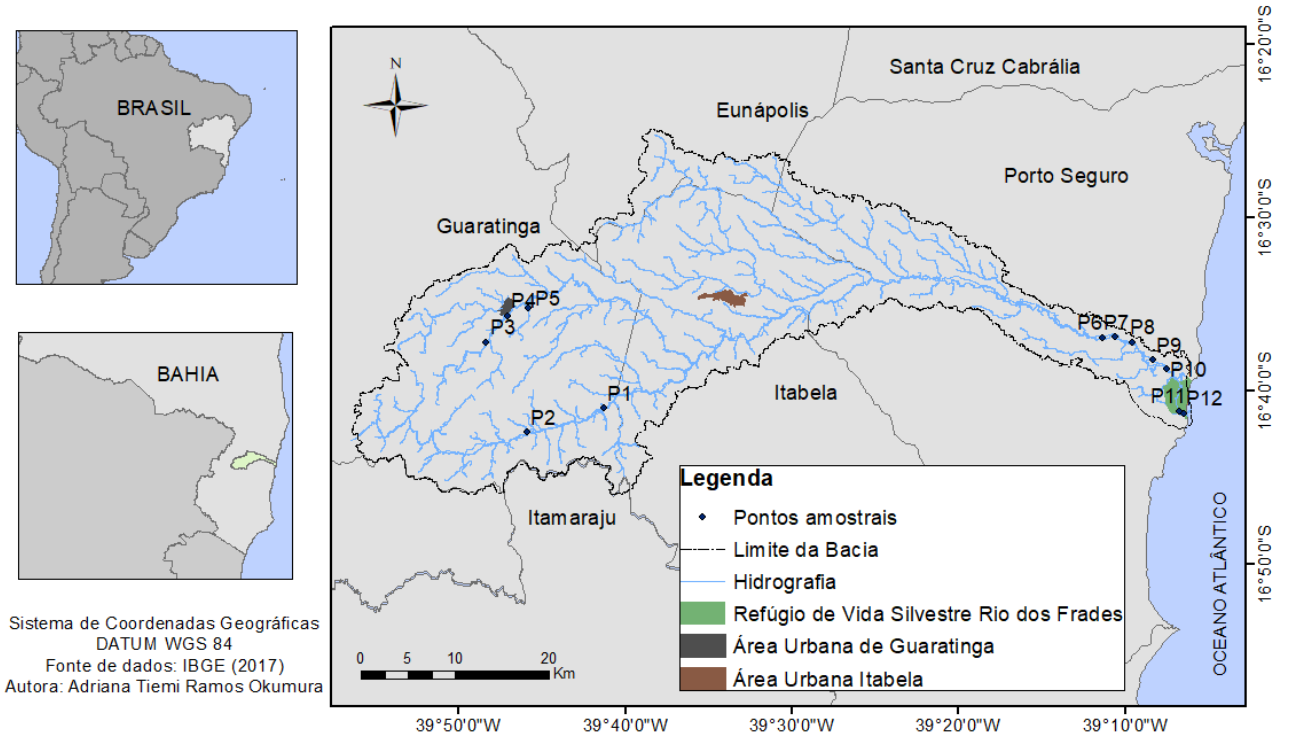



**Figura 1.** Mapa de localização da Bacia do Rio dos Frades e distribuição dos pontos amostrais.

A bacia fica situada na Região de Planejamento e Gestão da Água IV (RPGA-IV) (Figura 2), situada na Região Hidrográfica Nacional do Atlântico Leste, essa regionalização foi elaborada de acordo com o balanço oferta x demanda hídrica, déficit hídrico, aspectos de gestão das águas, de acordo com as Regiões Administrativas de Águas (RAAs) e das bacias hidrográficas, totalizando 25 RPGAs (INEMA, 2019). Essa unidade de gerenciamento localiza-se no extremo sul da Bahia, entre a RPGA III e V.

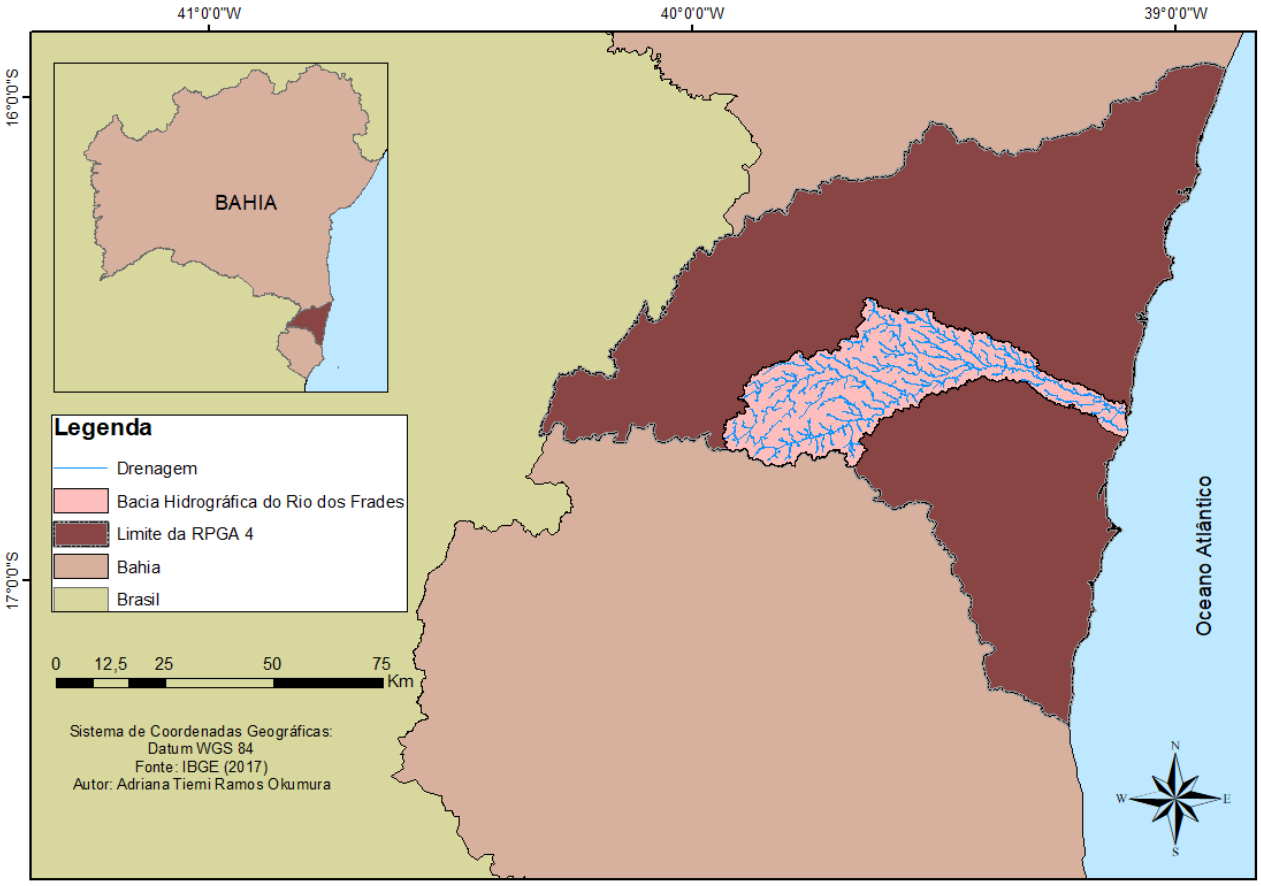



**Figura 2.** Mapa de localização geográfica da RPGA IV

A gestão dos recursos hídricos da bacia do Rio dos Frades é realizada por um comitê, que faz a gestão da RPGA IV, o Comitê de Bacia Hidrográfica (CBH) é um órgão colegiado, inteiramente novo na realidade institucional brasileira, o comitê funciona com uma estrutura tripartite que reúne o poder público, usuários e sociedade civil organizada.

O clima da região é tropical úmido (Af), pela classificação de Köeppen. A média de precipitação mensal é superior a 60 mm, com temperaturas médias superiores a 18 ºC do mês mais frio do ano, não tendo estação invernosa (Amorim, 2016).

Os municípios de Guaratinga, Itabela e Porto Seguro, estão localizados no Extremo Sul da Bahia, uma região com fragmentos da Mata Atlântica, manguezais, recifes/arenitos (Silva et al., 2018), com população fixa estimada em 20.991, 30.413 e 146.625 habitantes, respectivamente (IBGE, 2019). De acordo com os dados obtidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a falta de tratamento adequado dos efluente nesses municípios é preocupante, pois esse serviço abrange apenas 66,7% da população de Porto Seguro, 42,3% da de Guaratinga e apenas 4,4% da de Itabela, possuem disposição de efluentes apropriado, podendo afetar negativamente a qualidade ambiental e a saúde da população (IBGE, 2019).

Com maior extensão territorial Porto Seguro (2.285,76 km²) que também apresenta a maior densidade demográfica (52,70 hab/km²), seguido de Guaratinga com extensão de 2.189,40 km² e densidade de 9,53 hab/km²; já Itabela tem área de 924,926 km² e densidade demográfica de 33,37 hab/km² (IBGE, 2019).

Em termos socioeconômicos, a cidade de Porto Seguro é um dos principais polos turísticos do Brasil, o município possui um Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) de 0,676, e o crescimento da população é uma consequência direta do turismo (Brito et al, 2018; IBGE, 2019), além disso, o sistema de saneamento sofre impactos do turismo, pois a cidade possui uma população flutuante entorno de 1.500.000 turistas por ano, ou seja, 10 vezes maior que a população fixa (Brito et al, 2018; IBGE, 2019). O município de Itabela e Guaratinga apresentam IDH 0,599 e 0,558, respectivamente, sendo a agropecuária e silvicultura as principais atividades.

***Amostragem e análise de água*** **-** Para o planejamento amostral, analisou-se o regime de precipitação na região do Rio dos Frades utilizando uma série de 30 anos (Figura 3), para que a amostragem abrangesse períodos seco e chuvoso.

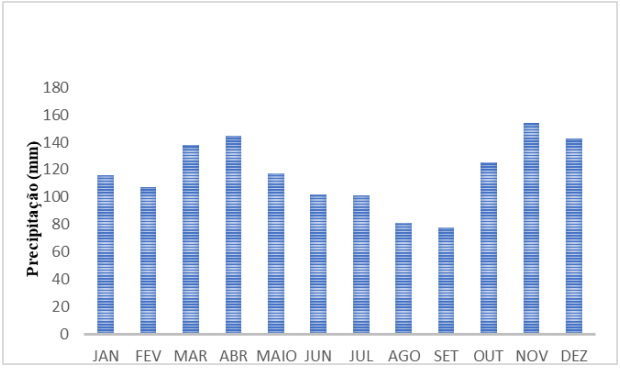



**Figura 3.** Precipitação média acumulada mensal (mm) no período 1988 – 2018

Fonte: INMET, 2019

De acordo com a série pluviométrica de 30 anos (Figura 3), observa-se que o mês de agosto e setembro correspondem aos meses mais secos, que corrobora com os dados de vazão. De acordo com o Plano Diretor de Recursos Hídricos do Extremo Sul da Bahia esses meses representam o período de menor vazão do rio, enquanto que entre os meses de outubro e abril apresentam as maiores vazões. Para determinar a sazonalidade, foi verificado a quantidade de chuvas 30 dias antes de cada coleta e utilizando a mediana da série, determinou-se a sazonalidade de cada amostragem.

Para testar as variações sazonais da qualidade da água (ciclo hidrológico da bacia) foi realizado quatro campanhas amostrais. A série pluviométrica do período em questão pode se observar na figura 4, dessa forma foi possível representar amostragens do período seco (1ª campanha) e chuvoso (2ª, 3ª e 4ª campanhas) para observar o comportamento sazonal dos parâmetros da qualidade da água.

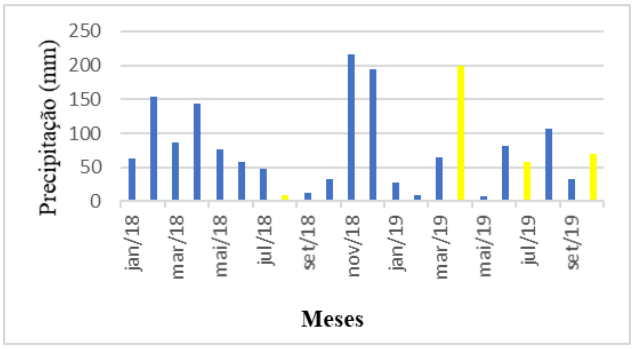



**Figura 4.** Série pluviométrica de Guaratinga no período de coleta. Operador: INMET (Código da estação: 1939026)

1ª campanha (29/08/18), 2ª campanha (25/04/19), 3ª campanha (08/07/19), 4ª campanha (31/10/19)

Fonte: INMET, 2019

A malha amostral foi estruturada em 12 pontos, determinados de acordo com o acesso aos locais e às possíveis fontes pontuais e difusas de contaminação ao longo do Rio dos Frades (Figura 1 e Tabela 1). O trecho entre o ponto 5 e 6 do rio está inserido em propriedades privadas o que impossibilitou o acesso. Os pontos amostrais foram georreferenciados em sistema de coordenadas planas, no DATUM WGS 84 24S.

**Tabela 1**. Pontos amostrados ao longo do Rio dos Frades e suas coordenadas.

| Pontos de Coleta | Coordenadas (UTM) | |
|---|---|---|
| | Latitude | Longitude |
| P1 | 0433082 | 8157602 |
| P2 | 0430868 | 8157230 |
| P3 | 0414816 | 8163607 |
| P4 | 0415607 | 8164452 |
| P5 | 0418787 | 8166191 |
| P6 | 0480239 | 8163246 |
| P7 | 0480239 | 8163246 |

| | | |
|---|---|---|
| P8 | 0481349 | 8163291 |
| P9 | 0482621 | 8162568 |
| P10 | 0485885 | 8160214 |
| P11 | 0487935 | 8156712 |
| P12 | 0488199 | 8154900 |

Devido à proximidade do ponto 12 com o mar, foi verificado a Tábua de Maré para observar as alterações provocadas pela dinâmica da maré, todas coletas, com exceção da 3ª campanha foram realizadas na maré baixa.

As coletas do tipo simples e superficial, seguiram as normas da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Os parâmetros foram determinados, conforme métodos estabelecidos pelo *AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION* – APHA, *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (2012). Em campo forma medidos os parâmetros: Oxigênio Dissolvida (OD), sólidos totais dissolvidos (STD), pH, temperatura (T ºC), condutividade elétrica e salinidade, com o auxílio de uma sonda multiparâmetro da marca Hanna, modelo HI9828. Os demais parâmetros, sólidos totais, turbidez, clorofila-*a*, demanda bioquímica de oxigênio, nitrito, nitrato, amônia, nitrogênio total, fosfato, fósforo total, coliformes totais, coliformes termotolerantes e cloreto, foram analisados em laboratório.

A partir dos dados, foi calculado o Índice de Qualidade das Águas (IQA), no qual, de forma integrada, é possível converter várias informações num único resultado numérico. Os resultados foram comparados com os intervalos das classes do IQA para, assim, definir a qualidade da água superficial da bacia em estudo.

Os parâmetros de determinação do IQA - Índice de Qualidade das Águas da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) e seus respectivos pesos encontram-se na Tabela 2. O peso é atribuído de acordo com a importância relativa de cada parâmetro.

**Tabela 2.** Parâmetros do IQA e seus respectivos pesos.

| **Parâmetro** | **Peso (w)** |
|---|---|
| Oxigênio Dissolvido | 0,18 |
| Coliformes termotolerantes | 0,16 |
| Potencial hidrogeniônico | 0,13 |
| Demanda Bioquímica de Oxigênio | 0,11 |
| Temperatura da água | 0,11 |
| Nitrogênio total | 0,11 |
| Fósforo total | 0,11 |
| Turbidez | 0.09 |

Fonte: CETESB, 2018

Na Tabela 3, tem-se os intervalos adotados para o IQA.

**Tabela 3.** Parâmetros da qualidade da água do IQA e seus respectivos índices.

| Intervalos das classes de IQA | Interpretação da qualidade da água |
|---|---|
| 80-100 | Ótimo - Excelente |
| 52-79 | Boa |
| 37-51 | Razoável |
| 20-36 | Ruim |
| 0-19 | Péssima |

Fonte: CETESB, 2018

Outro índice que tem sido utilizado no monitoramento da qualidade dos ambientes aquáticos tem sido o índice de estado trófico (IET). Este índice avalia a eutrofização que se refere ao enriquecimento por nutrientes (principalmente nitrogênio e fósforo) e matéria orgânica tendo como efeito a elevação dos valores de clorofila-*a* na água provocado pelo crescimento excessivo das algas, alterando significativamente o equilíbrio do ecossistema e causando diversos graus de trofia dos corpos d´agua. Para a interpretação do estado trófico do rio, foram utilizados os limites apresentados na tabela 4, proposto pela CETESB.

**Tabela 4.** Classificação das águas naturais, de acordo com os valores do Índice de Estado Trófico (IET).

| Critério | Estado trófico |
|---|---|
| IET ≤ 47 | Ultraoligotrófico |
| 47 < IET ≤ 52 | Oligotrófico |
| 52 < IET ≤ 59 | Mesotrófico |
| 59 < IET ≤ 63 | Eutrófico |
| 63 < IET ≤ 67 | Supereutrófico |
| IET > 67 | Hipereutrófico |

Fonte: CETESB, 2018

Visando a melhor compreensão dos dados, os resultados obtidos para as variáveis de qualidade de água foram comparados com a Resolução CONAMA 357/2005, alterada pela Resolução 410/2009 e pela 430/2011 (Brasil, 2005). Para enquadramento de águas classe 2. Esta resolução classifica os corpos de água e estabelece diretrizes, condicionando a determinação de metas de qualidade para a água (Brasil, 2005). De acordo com o artigo 42º da resolução 357, todas as águas doces serão consideradas classe 2, enquanto as salinas e salobras classe 1, até serem aprovados os seus respectivos enquadramentos (Brasil, 2005). No caso do rio dos Frades, o rio apresenta água doce em todo seu curso.

***Análises estatísticas -*** Análises de Componentes Principais (ACP) foi usada para caracterizar o comportamento sazonal dos parâmetros de qualidade da água. Esta análise possibilita uma melhor compreensão das inter-relações entre os parâmetros da qualidade da água e possíveis fontes que afetam o sistema hídrico, exteriorizando relações ocultas entre variáveis e reduzindo conjuntos de dados enormes e complexos a um pequeno número de fatores sem muita perda de informação (Wang et al., 2017). Foi utilizado o *software PAST e o R-studio* para proceder com o tratamento dos dados.

Apesar de não existir uma norma padrão sobre o número de fatores que deve ser extraído das análises, foi utilizado o critério de Kaiser, amplamente usado na literatura. Este critério, sugere a extração dos fatores com valor de "*eigenvalue"* (autovalor) acima de 1 (Golzarian e Frick, 2011; Calijuri et al., 2012; Arruda, Rizzi e Miranda, 2015; Vitale et al., 2017; Queiroz, Silva e Brazil de Paiva, 2017) e o número de componentes que representem 60 % da variância acumulada, refletem uma ideia aceitável da variância original de acordo com a metodologia de Hair, et al. (2009), estudos utilizam essa metodologia (Gardiman Junior, 2015; Ferreira, et al., 2015).

Foi verificado a normalidade dos dados utilizando o teste de Shapiro-Wilk (nível de significância 0,05). Apenas o OD, pH, DBO e PT apresentaram distribuição normal (paramétricos). Os dados não paramétricos foram transformados usando métodos apropriados, como transformações naturais de log, para satisfazer a condição de uma distribuição normal por mais análises. O teste de Kruskal-Wallis foi utilizado para verificar se houve variância significativa dos dados ($p<0,05$).

***Mapeamento do uso do solo e cobertura vegetal -*** Para a delimitação da bacia de drenagem, foi utilizada um Modelo de Elevação Digital (MDE) do SRTM *1 Arc-Second Global* (*Shuttle Radar Topography Mission*). O MDE foi processado no *software* QGIS *with Grass* versão 2.18, o processo foi realizado em quatro etapas: preenchimento de áreas sem dados ("*r.fillnulls*"), extração das redes de drenagem ("*r.watershed")*, delimitação da bacia ("*r.water.outlet")* utilizando as coordenadas do exutório, depois o raster foi convertido em uma camada vetorial ("*r.to.vect").*

Para a classificação do uso do solo e cobertura vegetal, foi utilizado uma imagem da área de estudo, obtida do sensor MSI (*multi-spectral instrument*) acoplado no satélite Sentinel 2A referente a 04/08/2017 adquirida do catálogo de imagens do site do Serviço Geológico Americano (USGS) e resolução espacial de 10 metros. A escolha da imagem foi baseada nas datas de coleta das amostras (imagem com data mais recente) e no percentual máximo de 20% de cobertura de nuvens (menor interferência de nuvem possível).

As bandas espectrais foram processadas no *software* QGIS versão 2.18 e reprojetados para o sistema de coordenadas planas, DATUM SIRGAS 2000 24S, e realizada uma composição real, utilizando as bandas no comprimento do espectro eletromagnético do vermelho, verde e azul, conforme Tabela 5.

**Tabela 5**. Bandas Sentinel-2A utilizadas na composição da imagem de satélite para caracterização do uso do solo e cobertura vegetal do Rio dos Frades.

| **Nº da banda** | **Nome da Banda** | **Comprimento de Onda Central (nanômetro)** |
|---|---|---|

| | | |
|---|---|---|
| **B02** | Blue (azul) | 490 |
| **B03** | Green (verde) | 560 |
| **B04** | Red (vermelha) | 665 |
| **B08** | NIR (Infravermelho Próximo) | 842 |

Fonte: USGS, 2019

A composição permitiu um reconhecimento preliminar das atividades de uso do solo e cobertura vegetal no entorno do Rio dos Frades. As classes do mapeamento foram determinadas e agrupadas em: área urbanizada (AU), área agricultáveis (AA), área florestada (AF), área de silvicultura (AS) e pastagem (AP).

Foi realizada a classificação supervisionada, procedendo-se a seleção de áreas de treinamento para as classes de uso do solo e cobertura vegetal e criadas suas respectivas assinaturas espectrais. Posteriormente, as assinaturas foram analisadas por análise estatística para identificação do comportamento das assinaturas espectrais na faixa dos comprimentos de onda do vermelho, azul e verde, visando reduzir a interferência ou similaridade da reflectância das classes nos mesmos comprimentos de onda.

Para classificação da imagem utilizou-se o algoritmo de Máxima Verossimilhança (MAXVER), um dos classificadores supervisionado mais utilizados, capaz de ponderar a distância das médias dos níveis digitais das classes, através de parâmetros estatísticos a partir de um conjunto de dados ou amostras representativas das classes de interesse. O algoritmo determina um diagrama de dispersão em torno da média e calcula a probabilidade do pixel pertencer a uma determinada classe (Cechim Junior, Johann, e Antunes, 2017).

Para o mapeamento, as classes e unidades de uso e cobertura vegetal foram determinadas de acordo com o Manual Técnico de Uso da Terra (IBGE, 2013).

## Resultados e Discussão

A tabela 6 apresenta os valores do IQA para os 12 pontos amostrais das 4 campanhas, o IQA variou de 51 a 90. Os valores de IQA obtidos classificam a qualidade da água na maioria de sua totalidade como boa. Apenas no P1, P3, P6, P7 e P8 da 3ª campanha, a qualidade da água apresentou-se como excelente.

**Tabela 6.** Valores de IQA obtido nas quatro campanhas.

| Pontos amostrais | Campanhas | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 1ª C | 2ª C | 3ª C | 4ª C |
| **P1** | 70 | 76 | 90 | 66 |
| **P2** | 72 | 80 | 80 | 60 |
| **P3** | 72 | 72 | 81 | 61 |
| **P4** | 71 | 62 | 77 | 56 |
| **P5** | 54 | 55 | 78 | 52 |
| **P6** | 60 | 54 | 84 | 59 |
| **P7** | 55 | 53 | 84 | 52 |
| **P8** | 61 | 51 | 83 | 52 |
| **P9** | 61 | 52 | 72 | 54 |
| **P10** | 63 | 52 | 71 | 52 |
| **P11** | 67 | 55 | 61 | 62 |
| **P12** | 62 | 52 | 70 | 60 |

Com base no teste de Kruskal Wallis, existe uma variação significativa do IQA ($p < 0,05$) para sazonalidade. Pode-se observar na figura 6, que os menores valores foram encontrados na campanha mais chuvosa (2ª campanha), associado ao pH, NT e turbidez, resultante das fontes difusas provenientes das áreas rurais, em função dos processos erosivos e ausência de mata ciliar.

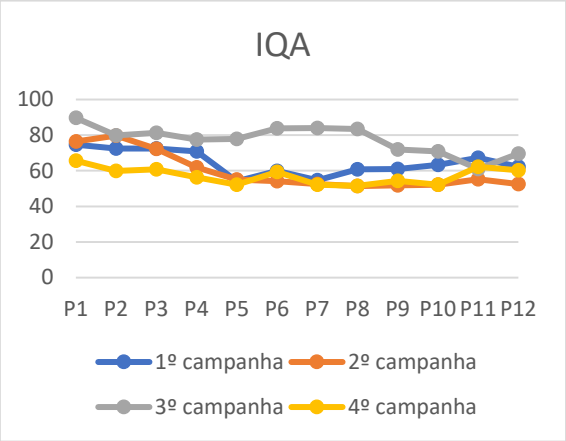



**Figura 5.** Gráfico representando os valores do IQA

Pode-se observar na Tabela 5 que os valores entre os pontos 1, 2 e 3 que não recebem influência da área urbana de Guaratinga e Itabela, apresentam IQA maiores que os pontos à jusante do município. Em contrapartida, os pontos mais distantes das áreas urbanas, apresentaram uma melhora nos valores do IQA, evidenciando que houve u0000ma autodepuração do rio.

Na segunda campanha pode-se notar uma queda da qualidade da água, principalmente nos pontos à jusante das áreas urbanas. Isso refletiu na classificação da qualidade da água como regular nos pontos 8 e 9. Tais pontos, situados no vale, no qual há criação de búfalos e ausência de mata ciliar, foram classificados em: eutróficos, supereutróficos, eutróficos e hipereutrófico, respectivamente para a 1ª, 2ª, 3ª e 4ª campanha (Tabela 6).

Os resultados do IET, estão apresentados na tabela 6. Desses 29,10% foram classificados como Mesotrófico, 31,25% Eutrófico, 25% Supereutrófico 25% e 14,58% Hipereutrófico. A partir de uma análise superficial da tabela 6 é possível observar uma pequena variação espaço-temporal do IET, apesar de não haver variação estatisticamente significativa segundo o teste de Kruskal-Wallis. Entretanto nota-se que a segunda e a quarta campanha apresentaram os piores valores de IET no estudo.

**Tabela 7.** Valores de IET obtido nas quatro campanhas.

| Pontos amostrais | Campanhas | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **1ª C** | **2ª C** | **3ª C** | **4ª C** |
| P1 | 59 | 61 | 56 | 63 |
| P2 | 58 | 66 | 56 | 67 |
| P3 | 58 | 60 | 58 | 65 |
| P4 | 58 | 63 | 56 | 62 |
| P5 | 60 | 63 | 58 | 62 |
| P6 | 60 | 64 | 61 | 67 |
| P7 | 63 | 65 | 56 | 68 |
| P8 | 60 | 63 | 57 | 68 |
| P9 | 60 | 63 | 60 | 67 |
| P10 | 60 | 64 | 56 | 67 |
| P11 | 60 | 65 | 57 | 68 |
| P12 | 60 | 80 | 56 | 67 |

Embora os resultados do IQA tenham classificado a qualidade da água como boa, individualmente, os parâmetros OD, pH, DBO e PT ficaram em desacordo com valores estabelecidos pela legislação, CONAMA 357/05, para os cursos de água doce, Classe 2 em ambiente lótico (Tabela 7), principalmente a jusante das

zonas urbanas dos municípios de Guaratinga e Itabela. Nas visitas *in situ* foi observado degradação da mata ciliar, atividades agropecuárias, lançamento de efluente doméstico, silvicultura e a bubalinocultura. Apenas nos pontos situados dentro do Refúgio (P11 e P12), foi observado vegetação ciliar. Esses fatores contribuem para a degradação da qualidade da água.

O DBO foi o parâmetro que teve o maior número de amostras em desacordo com a legislação (93,75% das amostras). Valores de DBO acima de 7 mg/L são indicativos de poluição (Otsuka, 2014). Em ambos períodos, o DBO se correlacionou com $NH_4^+$, NT, OD, pH, T ºC, turbidez e clorofila-*a* no entanto, somente no período seco, o DBO se correlacionou com PT e ST. No período chuvoso, o DBO teve correlação com $NO_2^-$, $NO_3^-$, e seus valores ultrapassaram o limite permitido pela legislação em todos os pontos, indicando que houve um aporte de matéria orgânica e nutrientes do solo.

O teor elevado da DBO é provocado pela presença de matéria predominantemente orgânica, indicando o aumento da microflora aquática, provocando desaparecimento de peixes e colocando em risco outras espécies aquáticas, devido à falta de oxigênio dissolvido, interferindo no equilíbrio da vida aquática (CETESB, 2016; Almeida et al., 2017 e Santos, et al., 2017).

**Tabela 8.** Estatística descritiva básica dos parâmetros analisados conforme a resolução do CONAMA 357/2005.

| Parâmetro | N | Período | Média | Mínima | Máxima | CONAMA 357/05 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **OD (**mg.L$^{-1}$) | 12 | ES | 5,16 | 3,13 | 7,04 | Mínimo de 5 mg L$^{-1}$ |
| | 36 | **EC** | 5,74 | 1,62 | 10,92 | |
| **pH** | 12 | ES | 6,41 | 5,35 | 7,36 | 6,0 a 9,0 |
| | 36 | **EC** | 7,01 | 6,18 | 8,24 | |
| **ST** (mg.L$^{-1}$) | 12 | ES | 184,10 | 30,66 | 1354,62 | NR |
| | 36 | **EC** | 2.631,18 | 12,98 | 56.215,33 | |
| **STD** (mg.L$^{-1}$) | 12 | ES | 184,11 | 21,0 | 1.016,00 | Até 500 mg L$^{-1}$ |
| | 36 | **EC** | 117,62 | 15,0 | 2.171 | |
| **TURB** (NTU) | 12 | ES | 21,70 | 2,5 | 58,06 | Até 100 NTU |
| | 36 | **EC** | 25,22 | 1,0 | 105,0 | |
| **Cl-*a* (**µg .L$^{-1}$) | 12 | ES | 7,04 | 5,50 | 8,11 | Até 30 µg.L$^{-1}$ |
| | 36 | **EC** | 58,46 | 10,30 | 68,25 | |
| **DBO** | 12 | ES | 6,69 | 4,10 | 13,32 | Até 5 mg L$^{-1}$ |
| | 36 | **EC** | 9,67 | 7,01 | 12,82 | |
| **$NO_2^-$** (mg .L$^{-1}$) | 12 | ES | 0,02 | 0,01 | 0,05 | 1,0 mg L$^{-1}$ |
| | 36 | **EC** | 0,03 | 0,01 | 0,21 | |
| **$NO_3^-$** (mg .L$^{-1}$) | 12 | ES | 0,32 | 0,031 | 2,39 | 10,0 mg L$^{-1}$ |
| | 36 | **EC** | 0,25 | 0,04 | 1,59 | |
| **$NH_4^+$** (mg .L$^{-1}$) | 12 | ES | 0,27 | 0,157 | 0,44 | 3,7 mg L$^{-1}$ N, para pH ≤ 7,5 |
| | 36 | **EC** | 0,15 | 0,08 | 0,31 | |
| **NT** (mg .L$^{-1}$) | 12 | ES | 0,57 | 0,01 | 1,39 | 2,18 mg L$^{-1}$ |
| | 36 | **EC** | 0,63 | 0,12 | 1,90 | |
| **$PO_4^-$** (mg .L$^{-1}$) | 12 | ES | 0,03 | 0,01 | 0,07 | NR |
| | 36 | **EC** | 0,05 | 0,02 | 0,36 | |
| **PT** (mg .L$^{-1}$) | 12 | ES | 0,03 | 0,02 | 0,09 | Até 0,03 mg L$^{-1}$ |
| | 36 | **EC** | 0,13 | 0,01 | 1,88 | |
| **Coli. Totais** (NMP/100mL) | 12 | ES | 1056 | 102,00 | 1600,0 | |
| | 36 | **EC** | 630,56 | 49,0 | 1600,0 | |
| **Coli. Term.** (NMP/100mL) | 12 | ES | 73,30 | 4,00 | 280,00 | até 1000/100mm |
| | 36 | **EC** | 111,61 | 1,80 | 1600,00 | |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **T (ºC)** | 12 | ES | 24,04 | 23,14 | 25,52 | NR |
| | 36 | **EC** | 26,48 | 21,00 | 30,87 | |
| **SAL** | 12 | ES | 0.13 | 0,02 | 1,03 | |
| | 36 | **EC** | 0,86 | 0,01 | 26,41 | |
| **$Cl^-$** | 12 | ES | 71,79 | 0,00 | 588,12 | |
| | 36 | **EC** | 58,46 | 10,30 | 632,00 | |
| **Condutividade elétrica** (µS/cm) | 12 | ES | 253,33 | 43,00 | 2029,00 | |
| | 36 | **EC** | 261,67 | 19,0 | 4334.00 | |

Legenda: EC – Estação Chuvosa; ES – Estação Seca; OD – Oxigênio Dissolvido; pH – Potencial Hidrogeniônico; ST – Sólidos Totais; STD – Sólidos Totais Dissolvidos; TURB – Turbidez; Cl-*a* – Clorofila *a*; DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio; $NO_2^-$ - Nitrito; $NO_3^-$ - Nitrato; $NH_4^+$- Amônia; NT- Nitrogênio Total; $PO_4^-$Fosfato; PT-Fósforo Total; Coli. Totais – Coliformes Totais; Coli. Term – Coliformes Termotolerantes; TºC – Temperatura (graus Celsius); SAL – Salinidade; NR – Não Regulamentado (Fonte: Brasil, 2005)

O pH é um dos parâmetros mais importantes e de mais difícil interpretação, essa complexidade se deve aos inúmeros fatores que o influenciam. Os valores de pH ficaram abaixo do legislado no período seco nos pontos a jusante das cidades. O valor mínimo encontrado foi de 5,35 e o máximo de 7,36 no período seco e mínimo de 5,43 e o máximo de 8,24 para o período chuvoso (Tabela 7). No período chuvoso, o pH se correlacionou com área urbana (+0,60) e no período seco com o OD (+ 0,72). A variável obteve o menor coeficiente de variação da totalidade dos parâmetros analisados.

Valores baixos de pH também foram encontrados em rios da região de Porto Seguro (Bandeira et al., 2019). Foi detectado valores menores que 5,0 neste estudo, que podem estar associados à degradação da matéria orgânica no afluente, tendo o seu valor reduzido à medida que ocorre o aumento da presença de matéria orgânica, esses valores de pH baixo e coloração escura se deve a liberação de ácidos orgânicos e gás carbônico na degradação da matéria. (Tundisi, 2003; Alves et al., 2009; Fia et al., 2015; Barcelos, et al., 2017).Essa presença de matéria orgânica foi confirmada com valores altos de coliformes totais e da DBO encontrados nesse estudo (Moura, Assumpção, e Bischoff, 2009). Em contrapartida, pH levemente ácido é uma tendência dos rios brasileiros, fator que não compromete o ambiente aquático (Silva, et al., 2008). Diferente desses estudos, valores que tendem do pH neutro ao alcalino foram encontrados na Índia e na Turquia (Gupta, Pandey, e Hussain, 2017).

O OD apresentou valores extremamente baixo principalmente nos pontos a jusante dos municípios. Esses valores podem ser explicados pela decomposição de matéria orgânica (esgotos e excretas de animais) (Al-Murairi, Abahussain, e El-Battay, 2014; Rocha et al., 2019), possibilidade reforçada pelos valores altos de DBO. Outro fator também, pode ser a própria característica física (relevo) dos trechos dos rios, que propicia baixa velocidade no fluxo da água influenciando numa menor reaeração. (Vasco et al., 2011)

Coliformes totais são bactérias que estão associadas à decomposição de matéria orgânica que fermentam a lactose produzindo gás, ácidos e aldeídos em uma temperatura de 35ºC, dentro deste grupo de bactérias existe um subgrupo denominado Coliformes Termotolerantes, que fermentam a lactose em temperaturas de 44 a 45 ºC. Essas bactérias em forma de bacilo estão presentes na microbiota residente do trato gastrointestinal do ser humano e de animais homeotérmicos. A principal espécie dentro desse grupo é a *Escherichia coli* (*E. Coli*), possuindo origem exclusivamente fecal (Alves, Ataide e Silva, 2018 ; Harfuch et al., 2019; Brito et al., 2019 e Dias et al., 2019)

Em todas as campanhas, foi detectada presença de coliformes termotolerantes em todas as amostras, o que pode ser explicado pela presença constante de gado nas proximidades e pelo lançamento de esgoto doméstico sem tratamento. Em períodos chuvosos ocorre o aumento de coliformes nos rios devido ao carreamento de fezes de animais por escoamento superficial (Martins, Monteiro da Silva e Kozusny-Andreani, 2017; Amâncio et al., 2018). Outros estudos realizados no Brasil apontam que a maior concentração desse parâmetro acarreta na queda da qualidade da água nesse período (Silva et al., 2018; Simonetti, Silva, e Rosa, 2019). A presença de coliformes termotolerantes na água é um fator preocupante, pois indica a presença de outros patógenos que podem infectar humanos por meio de ingestão ou cortes na pele (Namugize, Jewitt, e Graham, 2018). Além disso, as temperaturas elevadas, típicas de regiões tropicais, são propícias para a proliferação desse grupo de bactérias (Zeinalzadeh e Rezaei, 2017).

O PT apresentou valores acima do limite pertinente em 25% das amostras, com uma tendência de valores maiores no período chuvoso (45,83% do total) isso revela um *input* constante de PT durante este

período. De acordo com as análises, a entrada desse poluente ocorre por meio de descarga difusa, elevando a biomassa fitoplanctonica, em termos de clorofila *a*, podendo desencadear processos de eutrofização (Santos et al., 2018).

No ponto 12, no período mais chuvoso (2ª campanha) foi detectado os valores mais altos de clorofila-*a* e PT (68, 25 µg $L^{-1}$ e 1,88 mg $L^{-1}$ respectivamente). Estas variáveis apresentaram forte correlação positiva (0,97) durante esse período, influenciando diretamente no IET (correlação +0,70).

O ponto 12 apresentou salinidade acima do valor estabelecido para rios de água doce (<0,5ppm), nesse ponto, o rio apresenta classificação para água salobra, para as campanhas 1, 3 e 4. Na segunda campanha, devido alto aporte de água doce circulando no sistema, foi detectado o valor de 0,22 ppm para salinidade, sendo então classificada como água doce. Essa diferença aconteceu por conta da diluição da salinidade que acontece através da drenagem continental promovida pelas chuvas. Sendo assim, conclui-se que o ponto 12 recebe influência do mar, visto que, em todas as outras três campanhas a salinidade ultrapassou os limites estabelecidos para classe de água doce, independente do tipo de maré (preia-mar ou baixa-mar).

As altas concentrações de cloreto (superiores a 250 mg $L^{-1}$) no ponto 12, nas quatro campanhas confirmam a tendência característica de salinidade das águas salobras, sendo assim os parâmetros do ponto em questão foram comparados aos limites estabelecidos para classe 1, água salobra. Portanto, os parâmetros turbidez e cloreto também ficaram acima dos valores permitidos pela legislação.

Os valores STD ultrapassaram o limite estabelecido pela legislação nos pontos 11 e 12 devido à proximidade com o mar, justificado com presença de sais dissolvidos na água.

Apesar de não ter ultrapassado valores estabelecidos pela resolução, outras cargas poluentes (NT, $NO_2$, $NO_3$ e $NH_4$), também apresentaram concentrações maiores no período chuvoso. Evidenciando o arraste de nutrientes para o interior do rio. Comportamento semelhantes foram encontrados em outros estudos (Andrietti et al., 2016)

A ACP reduz a dimensionalidade de um conjunto de dados que contém um grande número de variáveis inter-relacionadas, evitando o mínimo de perdas possível de informações (Neves, Alves, Fonseca, e Macedo, 2016). Partindo dessa premissa, foi utilizado a análise de componentes principais (ACP) ao conjunto de dado, para investigar o comportamento sazonal do rio bem como a similaridade e diferenças no comportamento espacial das variáveis.

A partir da ACP (Figura 5), foram identificadas 21 componentes principais (CPs), no qual as 5 primeiras componentes explicam 68,76 % da variância dos dados e cujo autovalor é maior que 1.

Na ACP, os dois primeiros eixos explicam 35,90% da variância total dos dados. O eixo 1 apresentou 20,44%, cujo auto vetor é de 4,29 e se correlacionou mais positivamente com temperatura, PT, clorofilaª, e IET e mais negativamente com o OD e o IQA. O primeiro eixo está relacionado com cargas de poluentes que estão causando eutrofização e afetando a qualidade da água. O eixo 2 apresentou 15,46% da variância dos dados e autovalor 3,26 e correlação mais positiva com o $NO_2^-$, $NO_3^-$, NT, pH e DBO, e mais negativamente com $Cl^-$, CE e STD. No segundo eixo, as variáveis estão positivamente relacionadas com os processos de degradação da matéria orgânica e inorgânica. O eixo 3 explica 14,27% da variância dos dados e autovalor 2,29, estando associado aos sais dissolvidos na água (STD, ST, salinidade e cloreto), nos pontos próximos à foz (Bertossi et al., 2013). Estas variáveis apresentaram pesos (“loadings”) elevados, constituindo as variáveis mais significativas para a variabilidade da qualidade da água do Rio dos Frades.

Com o resultado da ACP, é possível observar a formação de grupos evidenciando que as amostras seguem um padrão para diferentes épocas do ano. A primeira e a terceira campanha ficaram agrupadas no IV quadrante, com exceção dos pontos 11 e 12, que estão no I quadrante, correlacionados com STD, CE, salinidade e cloreto. Devido à influência marítima.

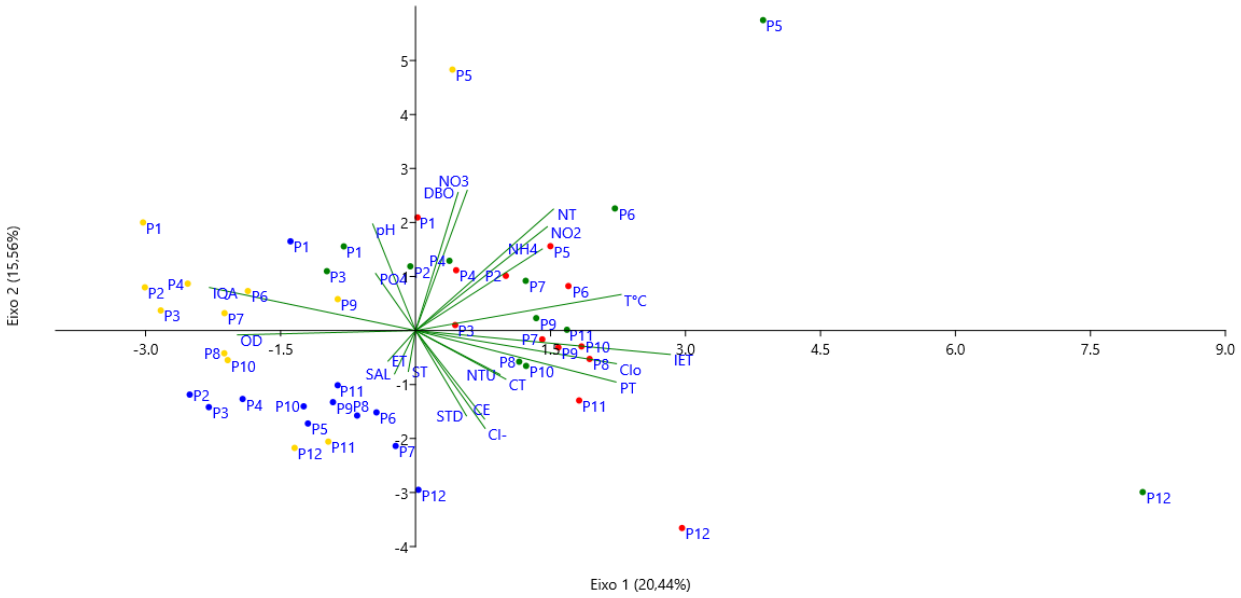



**Figura 6.** Análise dos Componentes Principais das 4 campanhas nos 12 pontos amostrais.
Legenda: Azul = 1ª campanha; Verde = 2ª campanha; Amarelo = 3ª campanha e Vermelho = 4ª campanha.

A segunda e a quarta campanha, se concentraram no II e III quadrante, correlacionando com a série nitrogenada, DBO, PT e clorofila-*a*.

A ACP, permite observar que os pontos mais próximos às nascentes se correlacionam com o IQA e com o OD, esses pontos apresentaram maiores médias para OD e valores de pH dentro do limite estabelecido pela legislação. De acordo com o eixo 1, a temperatura, o fósforo e a clorofila-*a*, influenciaram a queda do OD nos pontos à jusante das cidades, durante a segunda e quarta campanha. Esses pontos à jusante dos municípios estão correlacionados com a série nitrogenada, isso é um reflexo da influência das atividades antrópicas, principalmente despejo de efluentes domésticos sem tratamento na bacia.

O mapeamento do uso do solo e cobertura vegetal é extremamente importante para compreender a dinâmica das bacias hidrográficas, visto que, o uso intensivo e irregular do solo tem provocado a deterioração da qualidade da água. Sendo assim, foi gerado o mapa de uso do solo e cobertura vegetal referente à área de estudo (Figura 7).

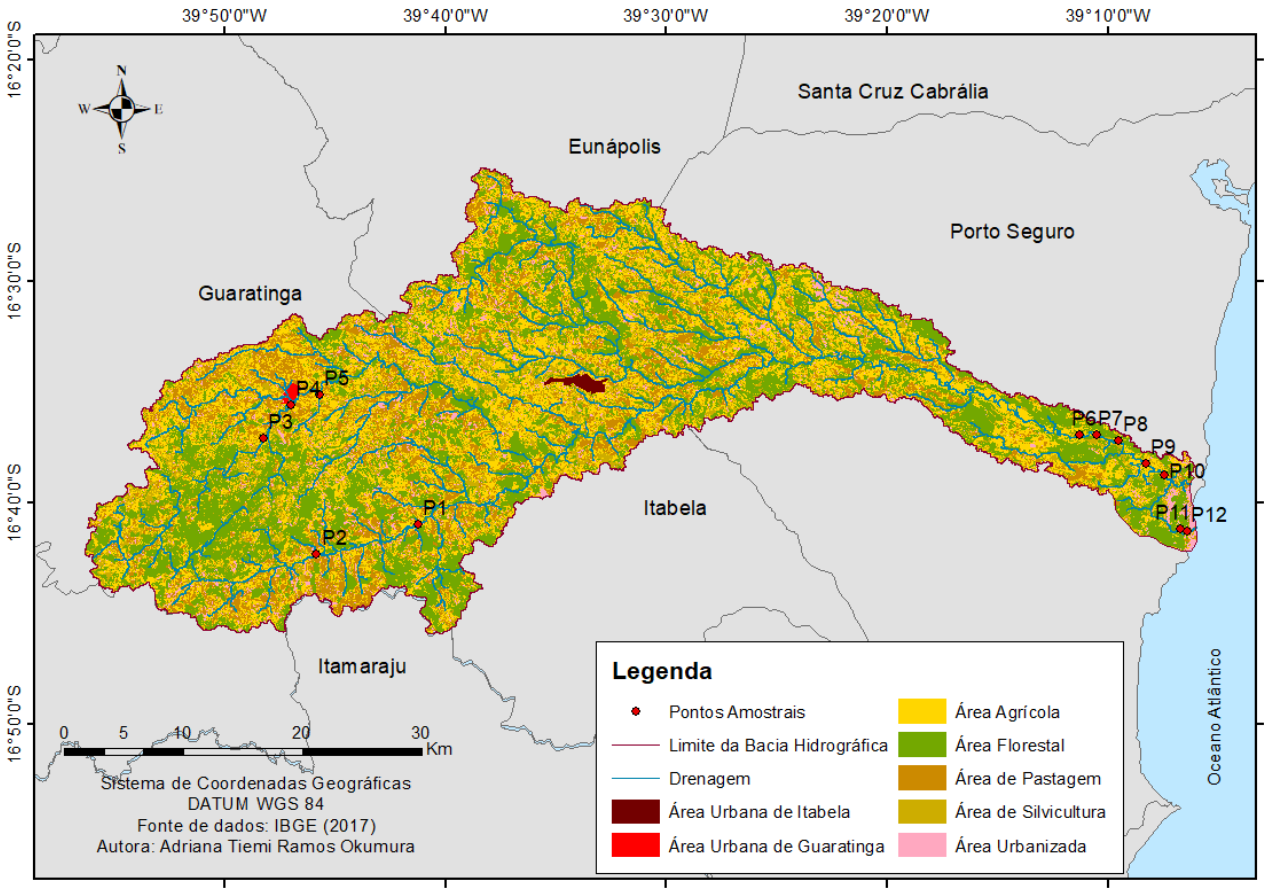



**Figura 7.** Mapa de uso do solo e cobertura vegetal da Bacia Hidrográfica do Rio dos Frades

As diferentes atividades antrópicas de uso e ocupação do solo, quando não há um planejamento adequado, refletem direta e negativamente na qualidade da água, pois ocasionam variações nos processos biológicos, físicos e químicos dos sistemas naturais (Fontes, Lucas, e Carvalho, 2017) podendo causar prejuízos à saúde humana e afetar a sobrevivência e comportamento das comunidades biológicas (Chagas et al., 2017). No estudo de Freire e Castro (2014), as áreas antrópicas agrícolas foram as que mais impactaram os recursos hídricos. Liu (2018), por sua vez, verificou que no alcance urbanizado a montante do rio, as concentrações da maioria dos poluentes eram baixas, enquanto nos locais a jusante as concentrações eram mais altas. No entanto, Santos et al., (2017) afirmam que a qualidade da água de um sistema hídrico pode ser alterada por vários fatores antrópicos ou naturais, bem como da interação entre eles.

Os percentuais do quantitativo de uso do solo e cobertura vegetal na bacia do Rio dos Frades são apresentados na Tabela 8.

**Tabela 9**. Quantitativo da área territorial ocupada por cada unidade do uso do solo e da cobertura vegetal.

| Classe | Unidades | Área (ha) | Área (%) |
|---|---|---|---|
| **Área antrópica** | Área urbana | 5.981,035 | 4,28 |
| **Área antrópica agrícola** | Campo e pastagem | 23.676,47 | 16,94 |
| | Área Agrícola | 46.339,21 | 33,16 |
| | Silvicultura | 15.541,32 | 11,12 |
| **Área de vegetação Natural** | Área Florestal | 48.208,48 | 34,50 |
| **Total** | | 139.746,5 | 100 |

Legenda: ha – hectares

Apesar de 34,5% da área da bacia apresentar floresta nativa, o total da área correspondente às atividades agrícolas é bem significativa na região, compreendendo 33,16% da bacia, esse resultado é o reflexo das atividades econômicas que movimentam os municípios da Costa do Descobrimento, no qual estão inseridos Itabela, Guaratinga e Porto Seguro. Segundo a Secretaria de Desenvolvimento Econômico, a região produz cerca de 36,94% do mamão da Bahia e 30,68% do montante da região Nordeste, dentre outras especiarias como urucum, café e pimenta do reino. A agricultura na região é predominantemente cafeicultora, essa atividade colaborou com a história do desenvolvimento econômico social de vários municípios do Estado, conferindo ao estado a posição de quarto maior produtor de café do país.

A região também conta como maior produtora de bubalinos de toda a Bahia (BAHIA, 2016). A presença de bubalinos às margens do rio é um fator preocupante, pois dependendo da quantidade de animais, o solo se torna mais vulnerável a intempéries, suscetível à erosão e por fim, acaba ocasionando o aumento de sólidos suspensos na água (Silva et al., 2018). Nesse contexto, é importante ressaltar que nos pontos 6, 7, 8, 9 e 10, situados em um extenso vale, observou-se a existência da presença de búfalos e cavalos às margens do rio.

Com exceção do ponto 4 (área urbana), 11 e 12 (dentro da RVSRF) todos os pontos apresentaram pastagem às margens do rio, representando um fator negativo pois além da supressão vegetal e erosão, ocorre também a compactação do solo. Essa atividade afeta a qualidade da água, pois diminuiu a concentração de oxigênio e aumenta a concentração de nitratos (Freire e Castro, 2014).

Apesar de apresentar apenas 11,12 % da área em estudo, a silvicultura, vem se destacando na região. Nas últimas décadas, devido seu valor econômico e sua capacidade rápida de crescimento houve um aumento global, de aproximadamente 20 milhões de hectares, nas áreas de plantio de eucalipto (Ouyang et al., 2018). A silvicultura de eucalipto pode ser usada como fonte de energia renovável, evitando a extração de florestas nativas, contribuindo para a conservação ambiental, principalmente quando é promovido um modelo sustentável de exploração florestal. Além disso, seu plantio em larga escala gera emprego e renda para segmentos industriais (Vechi, 2018). Em contrapartida, a pressão causada por essa atividade no ambiente natural é preocupante, quando o manejo inadequado e a monocultura ameaçam os ecossistemas circundantes. Essas práticas ocasionam a degradação dos ambientes, retração e fragmentação dos ecossistemas naturais, entre eles impactos no balanço hídrico, pois a sua produção em larga escala pode diminuir a disponibilidade de água nos sistemas hídricos (Lima et al., 2016). De acordo com Souza, (2015), o crescimento da cultura do eucalipto no Extremo Sul tem reduzido a área de vegetação natural e manguezais nas últimas décadas.

Com percentual menor e não menos importante em termos de contribuição para a degradação da qualidade da água, a Área Urbana, foi representada por 4,28% na composição do uso e ocupação do solo por atividades antrópicas. A influência da área urbana foi muito relevante para as interações entre os parâmetros da qualidade da água, visto que os valores de IQA apresentaram um decréscimo a partir dos pontos urbanos, em todas as campanhas, influenciados pelo aporte dos efluentes urbanos De acordo Saad et al., (2016).a expansão urbana sem planejamento e saneamento básico torna-se uma das principais causas da redução da qualidade da água.

## Conclusão

1- O regime pluviométrico apresenta influência na variação dos parâmetros limnológicos do rio dos Frades, tendo o período chuvoso como agravante da qualidade da água, no qual a erosão do solo descoberto, o lixiviamento de nutrientes e matéria orgânica proveniente das atividades agropecuárias e urbanas são os fatores que contribuem para a degradação da qualidade do corpo hídrico.

2- Com relação à distribuição espacial dos resultados, as áreas urbanizadas tiveram uma contribuição maior na poluição do rio, porém a variação espacial não foi estatisticamente significativa (teste de Kruskal Wallis).

4- Apesar do uso do solo da bacia alterar a qualidade da água, principalmente através dos nutrientes, material orgânico e sólidos, água do rio dos Frades se manteve com valores de IQA considerados boa na maior parte das amostras.

6- É importante frisar que, apesar dos resultados do IQA serem positivos, o corpo hídrico já apresenta indícios de degradação, visto que parâmetros importantes tais como, DBO, OD e pH estiveram em desacordo com os limites permitidos pela legislação do CONAMA 357/05 e os resultados apresentaram 70,83% das

amostras estado de eutrofização. Evidenciando a necessidade de um monitoramento contínuo da qualidade da água do rio dos Frades, visto que o rio é extremamente importante para manter a biodiversidade da bacia e principalmente do RVSRF.

## Referências


Al-Murairi, N., Abahussain, A., & El-Battay, A. (2014). Spatial and temporal characterizations of water quality in Kuwait Bay. *Marine Pollution Bulletin*, *83*(1), 127–131. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.04.009

ALMEIDA, E., Kozak, C., Prado, L., & Fernandes, C. (2017). Reflexões e fragilidades sobre a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) em rios. *Revista de Gestão de Água Da América Latina*, *14*(1), 9–9. https://doi.org/10.21168/rega.v14e9

Alves, I. C. C., El-Robrini, M., Santos, M. de L. S., Monteiro, S. de M., Barbosa, L. P. F., & Guuimarães, J. T. F. (2009). Qualidade das águas superficiais e avaliação do estado trófico do Rio Arari ( Ilha de Marajó , norte do Brasil ) Surface water ´ s quality and trophic status assessment in the Arari River. *Acta Amazonica*, *42*(1), 115–124.

Alves, S. G. da S., Ataide, C. D. G., & Silva, J. X. da. (2018). Análise microbiológica de coliformes totais e termotolerantes em água de bebedouros de um parque público de Brasília, Distrito Federal. *Rev. Cient. Sena Aires*, *07*(1), 06.

Amâncio, D. V., Coelho, G., Marques, R. F. de P. V., Viola, M. R., & De Mello, C. R. (2018). Qualidade Da Água Nas Sub-Bacias Hidrográficas Dos Rios Capivari E Mortes, Minas Gerais. *Scientia Agraria*, *19*(1), 75. https://doi.org/10.5380/rsa.v19i1.53175

Amorim, R. R. (2016). A Representação De Mapas De Paisagens Na Escala Regional: O Exemplo Da Região Costa Do Descobrimento (Bahia). *Revista Da Anpege*, *12*(17), 257–292. https://doi.org/10.5418/ra2016.1217.0011

Andrietti, G., Freire, R., Amaral, A. G. do, Almeida, F. T. de, Bongiovani, M. C., & Schneider, R. M. (2016). Índices de qualidade da água e de estado trófico do rio Caiabi, MT. *Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, *11*(1), 445–458. https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1769

Arruda, N. M. B., Rizzi, N. E., & Miranda, T. L. G. (2015). Análise multivariada na avaliação da qualidade de água do reservatório de Foz do Areia, estado do Paraná. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)*, (37), 26–37. https://doi.org/10.5327/Z2176-947820159514

Barcelos, A. A. de, Ramalho, F. L., Cabral, J. B. P., & Alves, W. dos S. (2017). Diagnóstico da qualidade das águas do córrego Sucuri (Caçu-Goiás). *Revista Brasileira de Geografia Física*, *10*, 750–766.

Bertossi, A. P. A., De Menezes, J. P. C., Cecílio, R. A., De Oliveira Garcia, G., & Neves, M. A. (2013). Seleção e agrupamento de indicadores da qualidade de águas utilizando estatística multivariada. *Semina:Ciencias Agrarias*, *34*(5), 2025–2036. https://doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n5p2025

BRASIL. (1997). Lei Federal. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº.

BRASIL. (2005). Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução no 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá out. Retrieved from http://www.mma.gov.br/conama/res/res05/res35705

Brito, I. N., Lima, R. de S., Paiva, K. da S., Souza, R. B., Carvalho, M. de S., & Silva, L. R. F. (2019). ANÁLISE MICROBIOLÓGICA DA ÁGUA DE POÇOS RASOS DO BAIRRO CANAÃ EM RIO BRANCO, ACRE, 2018. *DêCiência Em Foco*, *3*(1), 15–24.

Brito, S. de S., Torres, H. C., Araújo, W. A., & Voltolini, J. C. (2018). Gestão Ambiental Em Empreendimentos Hoteleiros Em Porto Seguro, Bahia, Brasil. *Latin American Journal of Business Management*, *9*(1).

Calijuri, M. L., do Couto, E. de A., Santiago, A. D. F., Camargo, R. D. A., & e Silva, M. D. F. M. (2012). Evaluation of the Influence of Natural and Antrhopogenic Processes on Water Quality in Karstic Region. *Water, Air, & Soil Pollution*, *223*(5), 2157–2168. https://doi.org/10.1007/s11270-011-1012-5

Carletto, D. L., & Oliveira, T. M. N. de. (2017). Educação ambiental e sustentabilidade: a Pegada Ecológica na Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira, Joinville, SC. *Acta Biológica Catarinense*, *4*(3), 136–144. https://doi.org/10.21726/abc.v4i3.430

Cechim Junior, C., Johann, J. A., & Antunes, J. F. G. (2017). Mapping of sugarcane crop area in the Paraná State using Landsat/TM/OLI and IRS/LISS-3 images. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, *21*(6), 427–432. https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n6p427-432

Chagas, F. B., Rutkoski, C. F., Bieniek, G. B., Vargas, G. D. L. P., Hartmann, P. A., & Hartmann, M. T. (2017). Integrated analysis of water quality from two rivers used for public supply in southern Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensia*, *29*(0), 1–11. https://doi.org/10.1590/s2179-975x6616

COMMAI, C. M. de M. A. de I.-. (2016). Plano Municipal de Conservação de Recuperação da Mata Atlântica de Itabela. Retrieved from http://www.agersa.ba.gov.br/wp-content/uploads/2016/08/relatorio-itabela.pdf

Dias, E. C., Ferrari, A. L. S., Schmidt, R. B., Silva, F., Salvi, J. de O., & Salvi, J. da S. (2019). QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA, MICROBIÓLOGICA E A TOXICIDADE DE CORPOS HÍDRICOS DO PARQUE TECNOLÓGICO VANDECI RACK EM JI- PARANÁ, RONDÔNIA. *South American Journal of Basic Education*, *6*, 282–296.

Ding, J., Jiang, Y., Liu, Q., Hou, Z., Liao, J., Fu, L., & Peng, Q. (2016). Influences of the land use pattern on water quality in low-order streams of the Dongjiang River basin, China: A multi-scale analysis. *Science of the Total Environment*, *551–552*(19), 205–216. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.162

Dutta, S., Dwivedi, A., & Suresh Kumar, M. (2018). Use of water quality index and multivariate statistical techniques for the assessment of spatial variations in water quality of a small river. *Environmental Monitoring and Assessment*, *190*(12), 718. https://doi.org/10.1007/s10661-018-7100-x

Ferreira Bandeira, M. D. S., Nascimento, L. D., Santos, R. F. dos, Tessmann, C., Silva, A. G., & Ferreira Bandeira, M. L. S. de. (2019). IMPACTOS AMBIENTAIS DE RIOS COM NASCENTES EM UNIDADE DE CONSERVAÇÃO: AVALIAÇÃO PRELIMINAR DOS RIOS MUTARI E JARDIM, SANTA CRUZ CABRÁLIA, BAHIA. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, *8*(3), 389. https://doi.org/10.19177/rgsa.v8e32019389-417

Ferreira, K. C. D., Lopes, F. B., de Andrade, E. M., Meireles, A. C. M., & da Silva, G. S. (2015). Adaptação do índice de qualidade de água da National Sanitation Foundation ao semiárido brasileiro. *Revista Ciencia Agronomica*, *46*(2), 277–286. https://doi.org/10.5935/1806-6690.20150007

Ferreira Marmontel, C. V., Lucas-Borja, M. E., Rodrigues, V. A., & Zema, D. A. (2018). Effects of land use and sampling distance on water quality in tropical headwater springs (Pimenta creek, São Paulo State, Brazil). *Science of the Total Environment*, *622–623*, 690–701. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.011

Fia, R., Tadeu, H. C., Menezes, J. P., Fia, F. R. L., & Oliveira, L. F. C. (2015). Qualidade da água de um ecossistema lótico urbano. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, *20*(1), 267–275. https://doi.org/10.21168/rbrh.v20n1.p267-275

Fontes, A. R., Lucas, A. A. T., & Carvalho, M. E. S. (2017). ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA NA MICROBACIA DO RIO CAIÇÁ, NO PERÍMETRO URBANO DE SIMÃO DIAS/SE. *Revista de Ciências Ambientais*, *11*. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18316/rca.v11i2.3170 ÍNDICE

Freire, A. P., & Castro, E. C. De. (2014). Análise da Correlação do uso e Ocupação do Solo e da Qualidade da Água. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, *19*, 41–49.

Gardiman Junior, B. S. (2015). Caracterização do processo de poluição das águas superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Jucu, estado do Espírito Santo, Brasil. *Revista Agroabiente*, *9*(3), 235. https://doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v9i3.2310

Golzarian, M. R., & Frick, R. A. (2011). Classification of images of wheat, ryegrass and brome grass species at early growth stages using principal component analysis. *Plant Methods*, *7*(1), 28. https://doi.org/10.1186/1746-4811-7-28

Gu, Q., Hu, H., Ma, L., Sheng, L., Yang, S., Zhang, X., … Chen, L. (2019). Characterizing the spatial variations of the relationship between land use and surface water quality using self-organizing map approach. *Ecological Indicators*, *102*(February), 633–643. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.03.017

Gupta, N., Pandey, P., & Hussain, J. (2017). Effect of physicochemical and biological parameters on the quality of river water of Narmada, Madhya Pradesh, India. *Water Science*, *31*(1), 11–23. https://doi.org/10.1016/j.wsj.2017.03.002

Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., Anderson, R. E., & Tatham, R. L. (2009). *Análise multivariada de dados* (Bookman).

Hamidi, S. A., Hosseiny, H., Ekhtari, N., & Khazaei, B. (2017). Using MODIS remote sensing data for mapping the spatio-temporal variability of water quality and river turbid plume. *Journal of Coastal Conservation*, *21*(6), 939–950. https://doi.org/10.1007/s11852-017-0564-y

Harfuch, C. A. C., Oliveira, F. R., Meira, B. R. de, Cagni, G. D. S., Souza, R. F. de, Lizama, M. de L. A. P., & Velho, L. F. M. (2019). Qualidade da água no trecho superior da bacia do Rio Pirapó: Um rio urbano no sul do Brasil. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, *8*(2), 513. https://doi.org/10.19177/rgsa.v8e22019513-538

IBGE. (n.d.). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Retrieved from https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/panorama&gt

IBGE. (2013). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual técnico de uso da terra. 3ª Ed. Rio de Janeiro: IBGE. 2013. 171p.

INEMA. (2019). Comitês de bacias.

Lima, A. R., Girardi, E. P., Mancio, D., & Nunes, D. da C. (2016). Impactos da monocultura de eucalipto sobre a estrutura agrária nas regiões norte e central do Espírito Santo. *Revista Nera*, 12–36.

Liu, J., Shen, Z., & Chen, L. (2018). Assessing how spatial variations of land use pattern affect water quality across a typical urbanized watershed in Beijing, China. *Landscape and Urban Planning*, *176*(May), 51–63. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.04.006

Martins, J. B., Monteiro da Silva, S. L., & Kozusny-Andreani, D. I. (2017). Coliformes no rio São Manoel (MG) durante o período chuvoso. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, *8*(3), 78–87. https://doi.org/10.6008/spc2179-6858.2017.003.0008

Melo, I. S., Silva, D. ., Santos, A. L. A., & Santanta, B. L. P. (2016). ATIVIDADES ANTRÓPICAS E DEGRADAÇÃO AMBIENTAL NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAMIRIM-SE Anthropogenic activities and environmental deterioration of sub- basin river Itamirim – SE. *Revista de Geociências Do Nordeste*, *2*. Retrieved from http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1980-993X2019000100302&lng=en&nrm=iso&tlng=en

Moura, A. C., Assumpção, R. A. B., & Bischoff, J. (2009). Monitoramento Físico-Químico E Microbiológico Da Água Do Rio Cascavel Durante O Período De 2003 a 2006. *Ar. Inst. Biol*, *76*(1), 17–22.

Namugize, J. N., Jewitt, G., & Graham, M. (2018). Effects of land use and land cover changes on water quality in the uMngeni river catchment, South Africa. *Physics and Chemistry of the Earth*, *105*(November 2017), 247–264. https://doi.org/10.1016/j.pce.2018.03.013

Neves, M. D. A., Alves, J. D. P. H., Fonseca, L. C., & Macedo, L. C. B. (2016). Qualidade Da Água Do Reservatório Jaime Umbelino – Barragem Do Poxim/Sergipe. *Interfaces Científicas - Saúde e Ambiente*, *5*(1), 81. https://doi.org/10.17564/2316-3798.2016v5n1p81-94

OTSUKA, A. Y., FEITOSA, F. A. do N., FLORES MONTES, M. de J., HONORATO DA SILVA, M., & TRAVASSOS, R. K. (2014). Condições ambientais do estuário do rio Botafogo (Itamaracá-Pernambuco-

Brasil): clorofila a e algumas variáveis ambientais. *Tropical Oceanography*, *42*(3), 111–127. https://doi.org/10.5914/tropocean.v42i3.5773

Ouyang, L., Zhao, P., Zhou, G., Zhu, L., Huang, Y., Zhao, X., & Ni, G. (2018). Stand-scale transpiration of a Eucalyptus urophylla × Eucalyptus grandis plantation and its potential hydrological implication. *Ecohydrology*, *11*(4), 1–10. https://doi.org/10.1002/eco.1938

Pessoa, J. O., Orrico, S. R. M., & Lordêlo, M. S. (2018). Qualidade da água de rios em cidades do estado da bahia. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, *23*(4), 687–696. https://doi.org/10.1590/s1413-41522018166513

Queiroz, L. G., Silva, F. T., & Paiva, T. C. B. (2017). Caracterização estacional das variáveis físicas, químicas, biológicas e ecotoxicológicas em um trecho do Rio Paraíba do Sul, SP, Brasil. *Revista Ambiente e Agua*, *12*(3), 238–248. https://doi.org/10.4136/1980-993X

Rocha, H. M., Cabral, J. B. P., Batista, D. F., & Oliveira, L. G. (2019). Avaliação físico-química e microbiológica das águas da bacia hidrográfica do rio Paraíso Jataí-GO. *Geosul*, *34*(72), 51–74. https://doi.org/10.5007/1982-5153.2019v34n72p51

Rodrigues, V., Estrany, J., Ranzini, M., de Cicco, V., Martín-Benito, J. M. T., Hedo, J., & Lucas-Borja, M. E. (2018). Effects of land use and seasonality on stream water quality in a small tropical catchment: The headwater of Córrego Água Limpa, São Paulo (Brazil). *Science of the Total Environment*, *622–623*, 1553–1561. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.028

Saad, A., Martinez, S., Goulart, M., Semensatto, D., Vargas, R., & Andrade, M. (2016). Efeitos do uso do solo e da implantação da estação de tratamento de esgoto sobre a qualidade das águas do rio Baquirivu-Guaçu, região metropolitana de São Paulo. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, *20*(1), 147–156. https://doi.org/10.21168/rbrh.v20n1.p147-156

Saltos, R. V. A., Rodríguez, L., Sucoshañay, D., & Bucaram, E. (2017). Caracterización preliminar de calidad de aguas en subcuenca media del río Puyo. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, *XXXVIII*(2), 59–72. https://doi.org/1815–591X

Santos, A. R. dos, Silva, R. C. F. da, Assis, L. C. de, & Mauad, F. F. (2019). Defining environmental conservation levels considering anthropic activity in the Uberaba River Basin protected area. *Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, *14*(1), 1. https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2279

Santos, N. B. C., Santos, rayza H. G., & Silva, R. F. (2018). Aplicação da Análise Multivariada e da Resolução CONAMA 357/2005 para Análise da Qualidade de Água em Rios de Pernambuco. *Revista Brasileira de Geografia Física*, *11*(June 2016), 1859–1875.

Santos, R. C. L., Lima, Á. S., Cavalcanti, E. B., Melo, C. M. de, & Marques, M. N. (2017a). Aplicação de índices para avaliação da qualidade da água da Bacia Costeira do Sapucaia em Sergipe. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, (0), 1–14. https://doi.org/10.1590/s1413-41522017159832

Santos, R. C. L., Lima, Á. S., Cavalcanti, E. B., Melo, C. M. de, & Marques, M. N. (2017b). Aplicação de índices para avaliação da qualidade da água da Bacia Costeira do Sapucaia em Sergipe. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, *23*(1), 33–46. https://doi.org/10.1590/s1413-41522017159832

Sarmento, L. M., & Martins, R. F. (2009). A fauna de peixes na bacia do rio dos Frades e microbacias vizinhas, extremo sul da Bahia, Brasil. *Bol. Mus. Biol.*, *70*, 25–46.

SEIA. (n.d.). Sistema Estadual de Informações Ambientais. Retrieved from http://www.seia.ba.gov.br/planos-e-programas/programa-monitora

Silva, A. C. R. de S., Bernardes, M. E. C., Assireu, A. T., Siegle, E., Sousa, P. H. G. de O., & Brown, D. (2018). Hydrodynamics of a tropical estuary: Buranhém river, Porto Seguro, Brazil. *Revista Brasileira de Recursos Hidricos*, *23*. https://doi.org/10.1590/2318-0331.0318170141

Silva, N. B. da, Lopes, J. O., Brito, J. D. de M., Takiyama, L. R., Montagner, A. E. A. D., & Oliveira, E. D. C. de. (2018). Diagnóstico da qualidade da água em áreas utilizadas pela bubalinocultura no Baixo Araguari, Amapá, Brasil. *Biota Amazônica*, *8*, 22–28. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18561/2179-

5746/biotaamazonia.v8n1p22-28

Silva, P. ., Angelis, C. ., Augusto, L. ., Machado, T. ., & Waichaman, A. (2008). Influência da precipitação na qualidade da água do Rio Purus. *Acta Amazonica*, *38*(4), 733–742.

Simonetti, V. C., Silva, D. C. da C. e, & Rosa, A. H. (2019). Análise da influência das atividades antrópicas sobre a qualidade da água da APA Itupararanga (SP), Brasil. *Geosul*, *34*(72), 01-27. https://doi.org/10.5007/1982-5153.2019v34n72p01

Souza, S. O. (2015). Geotecnologias Aplicadas À Análise Espaçotemporal Do Uso E Da Ocupação Da Terra Na Planície Costeira De Caravelas (Ba). *Boletim Goiano de Geografia*, *35*(1), 71–89. https://doi.org/10.5216/bgg.v35i1.35485

Tundisi, J. G. (2003). *Água no século XXI: Enfrentando a escassez.* (Rima, Ed.). São Paulo.

Varão, A. M., Da SIlva, P. G. F., Das Virges, C. S., Soares, A. P. A., & Do Rego, E. L. (2019). Avaliação da qualidade da água no Rio Grande no segmento entre estação de tratamento de esgoto do município de Barreiras – BA. *Águas SubterrâNeas*, *33*(2), 1–8. https://doi.org/10.14295/ras.v33i2.29552

Vasco, A. N.; Britto, F. B.; Méllo Júnior, A. V.; Gárcia, C. A. B.; Nogueira, L. (2011). Avaliação espacial e temporal da qualidade da água na sub-bacia do rio Poxim , Sergipe , Brasil Assessing the spatial and temporal water quality in the sub-basin of the Poxim river , Sergipe state , Brazil. *Revista Ambiente & Água*, (June 2010). https://doi.org/10.4136/1980-993X

Vechi, A. D. C. A. D. O. M. J. (2018). Carlos Alberto De Oliveira Magalhães Júnior *. *Revista Valore, Volta Redonda*, *3*.

Vitale, R., Westerhuis, J. A., Naes, T., Smilde, A. K., de Noord, O. E., & Ferrer, A. (2017). Selecting the number of factors in principal component analysis by permutation testing-Numerical and practical aspects. *Journal of Chemometrics*, *31*(12), e2937. https://doi.org/10.1002/cem.2937

Vrebos, D., Beauchard, O., & Meire, P. (2017). The impact of land use and spatial mediated processes on the water quality in a river system. *Science of the Total Environment*, *601–602*, 365–373. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.217

Wang, J., Liu, G., Liu, H., & Lam, P. K. S. (2017). Multivariate statistical evaluation of dissolved trace elements and a water quality assessment in the middle reaches of Huaihe River, Anhui, China. *Science of the Total Environment*, *583*, 421–431. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.088

Wrublack, S. C., Mercante, E., Boas, M. A. V., Prudente, V. H. R., & Silva, J. L. G. (2018). Variation of Water Quality Along a River in Agricultural Watershed With Support of Geographic Information Systems and Multivariate Analysis. *Engenharia Agrícola*, *38*(1), 74–81. https://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v38n1p74-81/2018

Zeinalzadeh, K., & Rezaei, E. (2017). Determining spatial and temporal changes of surface water quality using principal component analysis. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, *13*(July), 1–10. https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2017.07.002

# ANEXOS

IMAGENS DOS BÚFALOS ÀS MARGENS NO PONTO 7

Fonte: Próprio autor



IMAGENS DE CAVALOS ÀS MARGENS NO PONTO 10

Fonte: Próprio autor



METODOLOGIA UTILIZADA PARA DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS LIMNOLÓGICOS

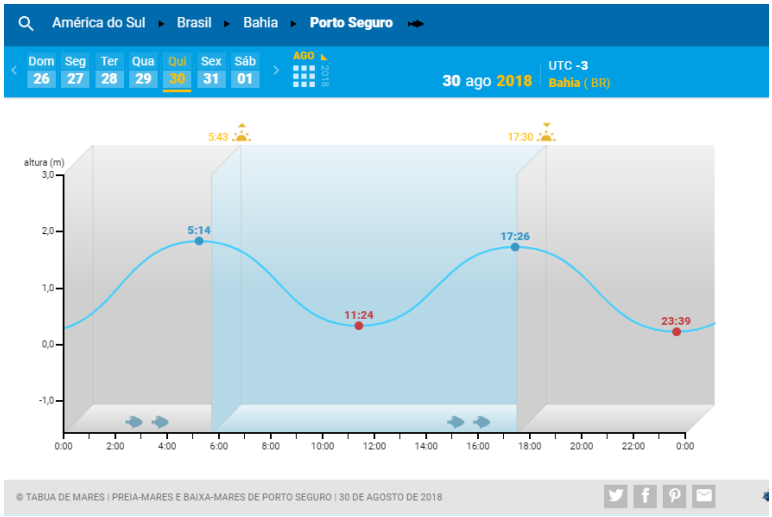
| Parâmetros analisados | Método |
|---|---|
| **pH** | Sonda multiparâmetro *Hanna HI 9828 - in situ* |
| **Condudividade µS/cm$^{-1}$** | Sonda multiparâmetro *Hanna HI 9828 - in situ* |
| **Salinidade ‰** | Sonda multiparâmetro *Hanna HI 9828 -in situ* |
| **Sólidos totais dissolvidos** | Sonda multiparâmetro *Hanna HI 9828 -in situ* |
| **Oxigênio Dissolvido mg.L$^{-1}$** | Sonda multiparâmetro *Hanna HI 9828 -in situ* |
| **Turbidez NTU** | Nefelométrico |
| **Ntotal mg L$^{-1}$** | Semi -Macro - Kjeldahl |
| **ST mg L$^{-1}$** | Gravimetria |
| **Temperatura °C** | Sonda multiparâmetro *Hanna HI 9828 -in situ* |
| **Clorofila *a* µg L$^{-1}$** | Espectrofotométrico UV VIS |
| **Coliformes NMP/100 mL$^{-1}$** | Método dos tubos múltiplos |
| **DBO** | Diluição e incubação por 5 dias |
| **ST** | Gravimétrico |
| **Fósforo Total mg L$^{-1}$** | Espectrofotométrico UV VIS |
| **Nitrato mg L$^{-1}$** | Método da redução com Cd / espectrofotométrico UV/VIS |
| **Nitrito mg L$^{-1}$** | Espectrofotométrico UV VIS |
| **N – Amoniacal mg L$^{-1}$** | Espectrofotométrico UV VIS |

TÁBUA DE MARÉ

Fonte: https://tabuademares.com/br/bahia/porto-seguro

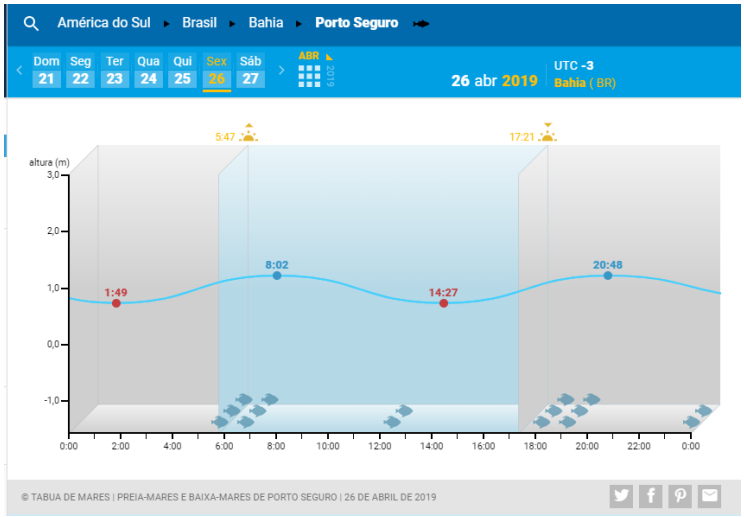
1ºCAMPANHA

P12 – 12:52



2º CAMPANHA

P12 – 11:38




3º CAMPANHA

P12 – 11:20



4º CAMPANHA

P12 – 10:29



TABELA DOS COMPONENTES PRINCIPAIS DA ACP

| | Componentes Principais | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | CP 1 | CP 2 | CP 3 | CP 4 | CP 5 |
| OD | -0,623 | -0,022 | 0,144 | 0,156 | 0,512 |
| NO2 | 0,461 | 0,528 | 0,111 | 0,059 | -0,419 |
| NO3 | 0,181 | 0,713 | 0,221 | 0,077 | -0,135 |
| NH4 | 0,443 | 0,415 | 0,272 | 0,233 | 0,256 |
| NT | 0,482 | 0,617 | 0,399 | 0,094 | 0,034 |
| CE | 0,241 | -0,450 | 0,495 | 0,648 | 0,046 |
| STD | 0,178 | -0,434 | 0,505 | 0,667 | 0,021 |
| ST | -0,025 | -0,208 | 0,637 | -0,670 | -0,082 |
| T°C | 0,719 | 0,183 | -0,165 | -0,020 | -0,215 |
| SAL | -0,074 | -0,220 | 0,726 | -0,603 | -0,039 |
| pH | -0,150 | 0,542 | 0,467 | -0,070 | 0,078 |
| NTU | 0,295 | -0,223 | -0,349 | -0,075 | 0,230 |
| PO4 | -0,140 | 0,290 | 0,050 | 0,087 | 0,283 |
| CT | 0,315 | -0,247 | 0,350 | 0,098 | -0,439 |
| ET | -0,096 | -0,155 | 0,207 | 0,472 | 0,003 |
| PT | 0,701 | -0,262 | -0,127 | -0,179 | 0,461 |
| Clo | 0,702 | -0,168 | -0,057 | -0,175 | 0,524 |
| DBO | 0,149 | 0,702 | 0,303 | -0,012 | 0,366 |
| Cl- | 0,243 | -0,497 | 0,719 | -0,172 | 0,094 |
| IQA | -0,721 | 0,219 | 0,178 | 0,034 | 0,411 |
| IET | 0,891 | -0,122 | -0,234 | -0,067 | 0,215 |
| Auto valor | 4,29 | 3,27 | 3,00 | 2,12 | 1,76 |
| Variância (%) | 20,44 | 15,56 | 14,27 | 10,10 | 8,36 |
| Variância Acumulada(%) | 20,44 | 36,00 | 50,27 | 60,37 | 68,74 |

PARÂMETROS LIMNOLÓGICOS DO PONTO 12

| Maré | 1ºC baixa-mar | 2ºC baixa-mar | 3ºC preia-mar | 4ºC baixa-mar | CONAMA 357/05 classe 01, água salobra | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Sal | 1,03 | 0,22 | 26,41 | 2,24 | >0,5 a <30 (salobra) | |
| PT | 0,03 | 1,88 | 0,005 | 0,205 | 0,062 mg L-1 | |
| Clo | 6,9 | 68,254 | 10,838 | 13,518 | | |
| PO4 | 0,04 | 0,01 | 0,0216 | 0,0171 | <0,124 mg/L | |
| STD | 1016 | 18,43 | 20,58 | 2171 | | 1000 |
| ST | 1354,62 | 511 | 56215,33 | 527 | | |
| NTU | 15,97 | 38,1 | 7,74 | 22,5 | 5 NTU | |
| OD | 5,8 | 2,64 | 6,2 | 5,81 | >5 mg L-1 | |
| pH | 7,27 | 5,43 | 8,01 | 6,73 | 6,5 a 8,5 | |
| PT | 0,03 | 1,88 | 0,005 | 0,205 | <0,2 | |
| NO2 | 0,04 | 0,04 | 0,00763 | 0,00836 | 0,07 mg L-1 | |
| NO3 | 0,04 | 0,14 | 0,076 | 0,06 | 0,40 mg L-1 | |
| NH4 | 0,04 | 0,09 | 0,116 | 0,294 | 0,4 mg L-1 | |
| Cl- | 588,1 | 383,2 | 632 | 372,4 | 250 mg L-1 | |
| ET | 130 | 33 | 15 | 130 | | |
| CE | 2029 | 470 | 41,17 | 4334 | | |