



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
MESTRADO PROFISSIONAL EM REDE NACIONAL EM GESTÃO E
REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS**

IZIS DE OLIVEIRA ALVES

**UTILIZAÇÃO DO ÍNDICE DO ESTADO TRÓFICO COMO UMA
FERRAMENTA PARA GESTÃO DAS ÁGUAS DE LAGOAS
MARGINAIS VISANDO OS USOS MÚLTIPLOS**

Salvador

2021

IZIS DE OLIVEIRA ALVES

**UTILIZAÇÃO DO ÍNDICE DO ESTADO TRÓFICO COMO UMA
FERRAMENTA PARA GESTÃO DAS ÁGUAS DE LAGOAS
MARGINAIS VISANDO OS USOS MÚLTIPLOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Bahia - UFBA como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre do Programa de Pós-Graduação em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua.

Orientadora: Adriana Costa Ferreira

Salvador

2021

A474 Alves, Izis de Oliveira.

Utilização do índice do estado trófico como uma ferramenta para a gestão das águas de lagoas marginais visando os usos múltiplos / Izis de Oliveira Alves. – Salvador, 2021.

134 f.: il. color.

Orientadora: Profa. Dra. Adriana Costa Ferreira.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal da Bahia. Escola Politécnica, 2021.

1. Recursos hídricos. 2. Lagoas. 3. Índice do estado trófico.
I. Ferreira, Adriana Costa. II. Universidade Federal da Bahia.
III. Título.

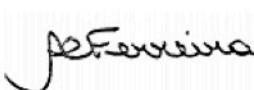
CDD: 628



IZIS DE OLIVEIRA ALVES

**“UTILIZAÇÃO DO ÍNDICE DO ESTADO TRÓFICO COMO UMA FERRAMENTA PARA
GESTÃO DAS ÁGUAS DE LAGOAS MARGINAIS
VISANDO OS USOS MÚLTIPLOS”**

Banca Examinadora:

Prof^a. Dr^a. Adriana Costa Ferreira _____  _____
Universidade Federal da Bahia (Orientador)

Prof. Dr. Ícaro Thiago Andrade Moreira _____  _____
Universidade Federal da Bahia (Examinador Interno)

Prof^a. Dr^a Sylvana Melo dos Santos _____  _____
Universidade Federal de Pernambuco (Examinador externo)

Salvador,
24 de março de 2021.

Aos meus pais, Raimundo e Carmen, minha inspiração constante.

AGRADECIMENTOS

Ao meu Deus, que me deu a vida, a força e tudo que preciso para enfrentar cada desafio.

Aos meus pais, que sempre me inspiraram e sonham cada sonho comigo.

Ao meu esposo, por todo cuidado, cumplicidade e compreensão.

Aos meus irmãos e sobrinhos, pelo incentivo.

Às minhas amigas Raquel, Valdirene e Luciana, pelo apoio.

À Harley, João e Edson, pela oportunidade que me foi dada.

À Thiara, Manoel, Sérgio, Maurício, Laysa, Antônio Carlos Carvalho, Albeni, Cleomenes, Alexandre, Ricardo, Renato, Sebastião, Ubirajara, Paulo, Isabel e Edson Vieira, que foram muito mais do que colegas da Codevasf. Este trabalho só foi possível por causa da colaboração de cada um de vocês.

À Enderson, gerente do Distrito de Irrigação Formoso e a toda sua equipe, pelo apoio na logística e na viabilização das análises.

À professora Adriana, que aceitou o desafio de me orientar e o fez de forma tão generosa.

À Marta Lamparelli, por esclarecer cada dúvida de forma tão solidária.

À Mário do Inema, por todo o incentivo.

Aos professores Yvonilde e Jaildo do ProfÁgua/UFBA, bem como Jorge da UFOB, por serem tão solícitos a cada demanda.

Ao seu Miguel, que além de conduzir o barco para as coletas me ajudou a entender um pouco mais sobre o rio São Francisco e a Lagoa das Piranhas.

Aos professores Ícaro e Sylvana, que me incentivaram a transcender em muitos aspectos na minha pesquisa.

Ao pessoal do Labdea e do Lepetro, especialmente Ednilze, Isadora, Larissa e Sarah.

Aos meus colegas, todos os professores e colaboradores do ProfÁgua/UFBA.

Ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE Nº. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

“Porque dele, por ele e para ele são todas as coisas.
Glória, pois a ele eternamente. Amém”.
Romanos 11:37

RESUMO

A eutrofização afeta a disponibilidade hídrica, pois altera a qualidade das águas, principalmente em função do aumento da concentração de fósforo e prejudica os usos múltiplos em diversas regiões do Brasil e do mundo, sobretudo em ambientes lacustres. O rio São Francisco, terceiro maior em extensão do Brasil, ao longo de seu trajeto forma diversas lagoas marginais, as quais funcionam como berçários da ictiofauna, mas também podem atender a outros usos como a diluição das águas de drenagem de áreas agrícolas, sendo este o caso da Lagoa das Piranhas, localizada no município de Bom Jesus da Lapa - BA. Considerando o transporte de fósforo a partir de áreas agrícolas, comumente relatado na literatura, percebe-se que a avaliação do grau de trofia desta lagoa poderá subsidiar a gestão de suas águas e favorecer o controle da poluição. No presente trabalho foi aplicado o Índice do Estado Trófico (LAMPARELLI, 2004), na avaliação da Lagoa das Piranhas, por meio de campanhas amostrais no período seco e chuvoso. A lagoa foi classificada como meso eutrófica na primeira campanha e mesotrófica nas duas seguintes, o que demonstra um risco aos usos múltiplos, inclusive para atendimento as necessidades da população que vive no seu entorno, sem falar no impacto para a ictiofauna que se constitui em fonte de renda para tantas famílias da bacia. Verificou-se que os corpos hídricos que alimentam a lagoa foram classificados em níveis tróficos superiores, o que pode acelerar o processo de eutrofização deste ambiente lacustre, demonstrando a necessidade de intervenções imediatas. Parte dessas intervenções pode ser custeada com recursos oriundos da cobrança pelo uso dos recursos hídricos em conformidade com o que estabelece o plano de bacia do rio São Francisco.

Palavras-chave: Lagoas marginais. Índice do Estado Trófico. Gestão de recursos hídricos.

ABSTRACT

Eutrophication affects water availability, as it changes the quality of the water, mainly due to the increase in the concentration of phosphorus and impairs multiple uses in several regions of Brazil and the world, especially in lake environments. The São Francisco River, the third largest in extension in Brazil, along its path forms several marginal lagoons, which function as nurseries for ichthyofauna, but can also serve other uses such as the dilution of drainage waters in agricultural areas, this being the case of Lagoa das Piranhas, located in the municipality of Bom Jesus da Lapa - BA. Considering the transport of phosphorus from agricultural areas, commonly reported in the literature, it is clear that the assessment of the degree of trophy in this lagoon can subsidize the management of its waters and favor the control of pollution. In the present work, the Trophic State Index (LAMPARELLI, 2004) was applied, in the evaluation of Lagoa das Piranhas, through sampling campaigns in the dry and rainy period. The lagoon was classified as meso-eutrophic in the first campaign and mesotrophic in the following two, which demonstrates a risk to multiple uses, including to meet the needs of the population living in its surroundings, not to mention the impact on the ichthyofauna that it constitutes in source of income for so many families in the basin. It was found that the water bodies that feed the lagoon were classified in higher trophic levels, which can accelerate the eutrophication process of this lake environment, demonstrating the need for immediate interventions. Part of these interventions can be funded with resources from charging for the use of water resources in accordance with what is established in the São Francisco River Basin Plan.

Keywords: Marginal lagoons. Trophic State Index. Management of water resources.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Contribuições de vazões para a bacia do rio São Francisco	42
Figura 2 – Lagoa das Piranhas, Bom Jesus da Lapa-BA	44
Figura 3 – Bacia Hidrográfica do riacho das Cacimbas	45
Figura 4 – Vista frontal da comporta na Lagoa das Piranhas	46
Figura 5 – Vista lateral da comporta na Lagoa das Piranhas	47
Figura 6 – Localização da comunidade	48
Figura 7 – Presença de animais na Lagoa das Piranhas	49
Figura 8 – Volume captado no Formoso A/H em 2019	51
Figura 9 – Localização dos pontos de monitoramento.....	53
Figura 10 – Hidrografia da região de estudo.....	54
Figura 11 – Armazenamento de amostras - Primeira campanha	57
Figura 12 – Armazenamento de amostras – Segunda campanha.....	57
Figura 13 – Medição de vazão com molinete	61
Figura 14 – Medição da cota da margem.....	62
Figura 15 – Topógrafo da Codevasf.....	63
Figura 16 – Precipitação no período de estudo.....	66
Figura 17 – Precipitação média mensal em Bom Jesus da Lapa.....	67
Figura 18 – Precipitação anual em Bom Jesus da Lapa (2010-2019).....	68
Figura 19 – Precipitação mensal em Bom Jesus da Lapa (média 2010-2019; 2011; 2020)..	69
Figura 20 – Variação da cota da margem da Lagoa das Piranhas	71
Figura 21 – Vazão do dreno do Formoso A/H nas duas primeiras campanhas.....	73
Figura 22 – Alteração da seção do canal do dreno do Formoso A/H.....	73
Figura 23 – Visita do hidrólogo ao dreno do Formoso A/H.....	74
Figura 24 – Distribuição da chuva e vazão no dreno	75
Figura 25 – Passagem Molhada	76
Figura 26 – Volume de água no dreno do Projeto Formoso	77
Figura 27 – Volume de água no riacho da Cacimba próximo a foz observado em campanha do período seco	77
Figura 28 – Volume de água no riacho da Cacimba próximo a foz observado na terceira campanha.....	78
Figura 29 – Localização dos pontos RCO, RCA0, RCA1 e RCA2	80

Figura 30 – Localização dos pontos RCA3, RCA4 e RSF0.....	80
Figura 31 – Localização dos pontos amostrais na Lagoa das Piranhas	81
Figura 32 – Concentração de fósforo total na primeira campanha	82
Figura 33 – Concentração de clorofila a na primeira campanha	83
Figura 34 – Concentração de fósforo total na segunda campanha	85
Figura 35 – Concentração de clorofila a na segunda campanha	85
Figura 36 – Situação da estrada de acesso a lagoa na terceira campanha.....	87
Figura 37 – Variação do IET durante o estudo (Box-plot)	89
Figura 38 – Variação do IET durante o estudo.....	90
Figura 39 – Concentração de fósforo total na terceira campanha	91
Figura 40 – Fósforo total nos ambientes na terceira campanha.....	92
Figura 41 – Variação da concentração de fósforo total nas três campanhas.....	93
Figura 42 – Concentração de clorofila a na terceira campanha	94
Figura 43 – Variação da concentração de clorofila a nas três campanhas	94
Figura 44 – Rio Corrente.....	95
Figura 45 – Variação de clorofila a e fósforo total no Rio Corrente	96
Figura 46 – Dreno do Formoso A/H	98
Figura 47 – Variação de clorofila a e fósforo total no Dreno	98
Figura 48 – Passagem molhada	100
Figura 49 – Localização da passagem molhada.....	100
Figura 50 – Variação de clorofila a e fósforo total na passagem molhada	101
Figura 51 – Foz do riacho das Cacimbas na segunda campanha	103
Figura 52 – Foz do riacho das Cacimbas na terceira campanha	103
Figura 53 – Variação de clorofila a e fósforo total na foz do riacho das Cacimbas	104
Figura 54 – Rio São Francisco	105
Figura 55 – Variação de clorofila a e fósforo total no rio São Francisco	105
Figura 56 – Variação de clorofila a na Lagoa das Piranhas.....	108

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Trechos da PNRH relacionados à qualidade das águas.....	25
Quadro 2 – Classes de água.....	27
Quadro 3 – Concentração de DBO e OD.....	28
Quadro 4 – Classificação do IET para rios e reservatórios.....	37
Quadro 5 – Categorias do estado trófico	38
Quadro 6 – Valores máximos permitidos na Resolução Conama nº 357/05 para os parâmetros que compõem o IET	39
Quadro 7 – Concentração de clorofila <i>a</i> ($\mu\text{g.L}^{-1}$) na Lagoa das Piranhas.....	107
Quadro 8 – Situação dos pontos amostrais da Lagoa das Piranhas.....	110

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Descrição dos pontos do monitoramento	55
Tabela 2 – Coleta e Armazenamento.....	56
Tabela 3 – Parâmetros analisados	58
Tabela 4 – Especificações do molinete	60
Tabela 5 – IETs obtidos na primeira campanha nos diversos ambientes analisados.....	79
Tabela 6 – IETs obtidos na segunda campanha nos diversos ambientes analisados.....	84
Tabela 7 – IETs obtidos na terceira campanha nos diversos ambientes analisados.....	88
Tabela 8 – Resultados do IET	90
Tabela 9 – Propostas para melhoria da qualidade das águas da Lagoa das Piranhas.....	115
Tabela 10 – Ações do PRH-SF relativas a qualidade da água.....	118

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANA	Agência Nacional das Águas
BHSF	Bacia Hidrográfica do rio São Francisco
CBHSF	Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco
Cetesb	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
Cl a	Clorofila a
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
Codevasf	Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba
Conama	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
DBO	Demanda bioquímica de oxigênio
DIF	Distrito de Irrigação Formoso
DQA	Diretiva Quadro da Água
DQO	Demanda química de oxigênio
ETE	Estação de tratamento de efluentes
Formoso A/H	Projeto Público de Irrigação Formoso A/H
Geobahia	Sistema de dados geográficos do estado da Bahia
IET	Índice do Estado Trófico
Incra	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
Inema	Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos.
Inmet	Instituto Nacional de Meteorologia
Labdea	Laboratório de Físico-Química do Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Federal da Bahia.
LAT/LONG	Latitude e Longitude
LD	Limite de detecção
Lepetro	Laboratório de Petróleo do Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia.
LN	Logaritmo natural
LQ	Limite de quantificação
OD	Oxigênio Dissolvido
PNQA	Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos

PRH-SF	Plano de Recursos Hídricos do rio São Francisco
P_{total}	Fósforo total
Q_{90}	Vazão com 90% de permanência no tempo
RPGA	Região de Planejamento das Águas
SAC	Sistema Alagado Construído
SMEWW	<i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</i>
UFBA	Universidade Federal da Bahia
UFOB	Universidade Federal do Oeste Baiano

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	OBJETIVOS	21
3	REVISÃO DE LITERATURA	22
3.1	ASPECTO QUALITATIVO NA LEGISLAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS	22
3.1.1	Resolução Conama nº 357/2005	26
3.1.2	Comitês de Bacias Hidrográficas	29
3.2	EUTROFIZAÇÃO	31
3.3	ÍNDICE DO ESTADO TRÓFICO	33
4	METODOLOGIAS DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EMPREGADAS	41
4.1	ÁREA DE ESTUDO	41
4.1.1	Lagoa das Piranhas	43
4.1.2	Projeto Público de Irrigação Formoso A/H	49
4.2	LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM	52
4.3	AMOSTRAGEM	55
4.4	COLETA E ARMAZENAMENTO	56
4.5	MÉTODOS ANALÍTICOS	57
4.6	CÁLCULO DO ÍNDICE DO ESTADO TRÓFICO	58
4.7	PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA	59
4.8	MEDIÇÃO DA VAZÃO DO DRENO E DETERMINAÇÃO DA CARGA DE FÓSFORO TOTAL	60
4.9	NÍVEL DA LAGOA	61
4.10	TRATAMENTO DOS DADOS	63
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	65
5.1	AVALIAÇÃO DE FATORES QUE PODEM INFLUENCIAR O ÍNDICE DO ESTADO TRÓFICO DA LAGOA DAS PIRANHAS	65
5.1.1	Volume de chuva	65
5.1.2	Cota da Lagoa das Piranhas	70
5.1.3	Carga de fósforo total do dreno do Formoso A/H	72
5.2	VARIAÇÃO TEMPORAL E ESPACIAL DO ÍNDICE DO ESTADO TRÓFICO	78
5.2.1	Primeira Campanha	78
5.2.2	Segunda Campanha	83
5.2.3	Terceira Campanha e comparativo entre campanhas	86
5.3	AVALIAÇÃO DOS AMBIENTES DO ESTUDO	95
5.3.1	Rio Corrente (RCO0)	95
5.3.2	Dreno do Formoso (RCA1)	97

5.3.3	Riacho das Cacimbas no trecho da passagem molhada (RCA3)	99
5.3.4	Riacho das Cacimbas na região da sua foz (RCA4).....	102
5.3.5	Rio São Francisco (RSF0)	104
5.3.6	Lagoa das Piranhas (LPI1, LPI2, LPI3, LPI4 e LPI5)	106
5.4	PROPOSTAS PARA MELHORIA DA QUALIDADE DAS ÁGUAS DA LAGOA DAS PIRANHAS E SUA RELAÇÃO COM A GESTÃO	110
5.5	UTILIZAÇÃO DO ÍNDICE DO ESTADO TRÓFICO PARA CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS DE LAGOAS MARGINAIS.....	119
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	122
REFERÊNCIAS		124
APÊNDICE A – Relatório Técnico		134

1 INTRODUÇÃO

A eutrofização é um tipo de poluição que provoca desequilíbrio nos ecossistemas aquáticos, principalmente lacustres. Induzida especialmente por maior aporte de nutrientes aos corpos hídricos, afeta a disponibilidade hídrica, pois deteriora a qualidade das águas. Considerando a limitação deste recurso frente ao aumento das demandas, a eutrofização tornou-se objeto de constante investigação por pesquisadores de várias partes do mundo (BRASIL, 1997; BUCCI e OLIVEIRA, 2014; BUTT e NAZEEER, 2015; LONGLEY *et al.*, 2019; SILVA *et al.*, 2018; PADEDDA *et al.*, 2017; ZHANG *et al.*, 2018).

O excesso de nutrientes limitantes, especialmente fósforo, favorece o aumento da produtividade primária no corpo hídrico com a proliferação de fitoplâncton e macrófitas aquáticas. Assim a eutrofização modifica a cor, o odor e o sabor da água. É responsável ainda pela redução de oxigênio dissolvido que pode alterar a biodiversidade do ambiente aquático, inclusive levando peixes e outros seres vivos à morte (BEM, BRAGA e AZEVEDO, 2013; GARCIA NIETO *et al.*, 2019; LIN *et al.*, 2020; PINHO *et al.*, 2018; RAUEN *et al.*, 2018).

Atribui-se também a eutrofização um aumento nos custos para o tratamento de água. Em alguns casos ainda existe o risco à saúde pública devido a liberação de toxinas por cianobactérias, as quais não são removidas no tratamento convencional (PIRES *et al.*, 2015; WANG, LIU e ZENG, 2013).

Ferramentas como o Índice do Estado Trófico (IET) são úteis para tornar os estudos relativos à eutrofização mais objetivos, sintetizando informações sobre parâmetros físico-químicos e biológicos, além de facilitar a comunicação com diversos públicos (ANA, 2017). O IET avalia a função dos nutrientes no processo de eutrofização e a resposta do corpo hídrico refletida por meio do crescimento do fitoplâncton (BEM, BRAGA E AZEVEDO, 2013; BUCCI e OLIVEIRA, 2014; CUNHA *et al.*, 2013; SPERLING, 2005).

Um dos IETs mais difundidos no Brasil, inclusive pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – Cetesb, consiste em uma metodologia aprimorada por Lamparelli (2004) ao método desenvolvido por Carlson (1974). Este índice permite a classificação dos corpos hídricos em seis categorias do

estado trófico, desde ultraoligotrófico, cuja concentração de nutrientes é insignificante, até hipereutrófico, com máxima concentração de nutrientes e altíssimo risco para os usos múltiplos.

Os usos múltiplos podem ser viabilizados pela adequada gestão das águas, conforme estabelece a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída por meio da Lei nº 9.433/1997. Essa lei prevê cinco instrumentos de gestão: plano de recursos hídricos, enquadramento, outorga, cobrança e sistemas de informações, além de considerar a bacia hidrográfica como unidade territorial para implementação da PNRH. Por meio destes se objetiva assegurar disponibilidade hídrica com qualidade adequada aos respectivos usos.

A bacia hidrográfica do rio São Francisco, a terceira maior em extensão do Brasil é representativa quanto ao aspecto dos usos múltiplos. De importância histórica e destaque nacional nesta bacia tem-se a atividade de pesca, a qual vem sendo afetada por fatores como construção de barramentos, mudanças climáticas e uso inadequado do solo que impactam diretamente a qualidade das águas das lagoas marginais, os berçários da ictiofauna (ANA, 2012a; ANA, 2017; GODINHO e GODINHO, 2003; LUZ *et al.*, 2009).

A Lagoa das Piranhas é uma lagoa marginal do rio São Francisco, localizada à sua margem esquerda, no município de Bom Jesus da Lapa/BA. Além de ser habitat para reprodução, alimentação e refúgio dos peixes, portanto fundamental para a pesca, atende outros usos como: consumo humano, dessementação animal, lavagem de utensílios e roupas, atividades de lazer, além da diluição das águas de drenagem de áreas agrícolas.

Vem sendo questionado pela comunidade quilombola conhecida como Piranhas, que vive no entorno dessa lagoa, o seu uso para diluição das águas do dreno do Projeto Público de Irrigação Formoso A/H. Este, fomentado pelo Governo Federal é composto por pequenos e grandes agricultores e foi considerado o maior produtor individual de banana do Brasil (ROCHA, 2016). A comunidade atribui a redução da qualidade das águas da lagoa, inclusive com episódio de mortandade de peixes, a este projeto (SANTANA, 2012).

A redução da disponibilidade hídrica em virtude da alteração da qualidade das águas pode trazer prejuízos não somente ambientais, mas também econômicos e sociais. Além disso, pode gerar conflitos, os quais devem ser evitados por meio do controle da poluição (BRASIL, 1997).

Percebe-se, portanto, como fundamental o monitoramento da qualidade das águas, a qual por ser um reflexo das atividades desenvolvidas na bacia hidrográfica, possibilita a identificação de fontes poluidoras (LOPES *et al.*, 2019).

No caso de bacias onde se desenvolve a agricultura é comum o transporte de fósforo das áreas produtivas para os corpos hídricos à sua jusante, especialmente nos períodos chuvosos, sendo comuns eventos de eutrofização artificial associados a este tipo de ocupação (LI *et al.*, 2020; LONGLEY *et al.*, 2019; PADEDDA *et al.*, 2015). Além da agricultura, os esgotos domésticos sem tratamento ou cujo tratamento não remove fósforo e os efluentes industriais são importantes fontes antrópicas de nutrientes que induzem a eutrofização (ESTEVES, 2011; ANA, 2012a).

Tendo em vista que a Lagoa das Piranhas consiste no ponto mais baixo da microbacia do riacho das Cacimbas, a qual é ocupada por diversas propriedades agrícolas, existe a possibilidade deste corpo hídrico funcionar como sumidouro de nutrientes, especialmente fósforo (WALTON *et al.*, 2020).

O aumento de nutriente neste ambiente pode induzir a eutrofização, trazendo prejuízos ambientais, econômicos e sociais, os quais já vem sendo relatados pela comunidade quilombola, o que justifica a realização de estudos para avaliação do estado trófico da Lagoa das Piranhas.

Embora seja evidente a importância das lagoas marginais para a preservação da ictiofauna do rio São Francisco e o desenvolvimento local, cuja gestão deve ser priorizada por se tratar de ecossistemas frágeis (LIN *et al.*, 2021), a discussão acerca da qualidade de suas águas não foi aprofundada nem mesmo durante a análise qualitativa de águas superficiais que integra o Plano de Recursos Hídricos (CBHSF, 2015a).

Por isso, o presente trabalho, no âmbito do Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua, se propôs a avaliar o Índice do Estado Trófico da Lagoa das Piranhas, visando contribuir com informações que auxiliem na gestão das suas águas.

Juntamente com esta dissertação apresenta-se um Relatório Técnico, o qual além de caracterizar o estado trófico da Lagoa das Piranhas e demais corpos hídricos afluentes a este ambiente límnetico, apresenta propostas para melhoria da qualidade das suas águas, em consonância com o que estabelece a PNRH.

2 OBJETIVOS

Objetivo Geral

Aplicar o Índice do Estado Trófico – IET para gestão das águas de lagoas marginais visando os usos múltiplos a partir de um estudo de caso da Lagoa das Piranhas, localizada em Bom Jesus da Lapa – Bahia.

Objetivos Específicos

- Determinar a variação temporal e espacial do Índice do Estado Trófico da Lagoa das Piranhas;
- Identificar fatores que influenciam o Índice do Estado Trófico da Lagoa das Piranhas;
- Utilizar o Índice do Estado Trófico para caracterização da qualidade das águas de lagoas marginais.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 ASPECTO QUALITATIVO NA LEGISLAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

O aspecto referente a qualidade das águas permeia toda a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída por meio da Lei nº 9.433/97, conhecida como Lei das Águas, cujos objetivos contemplam garantia de disponibilidade hídrica, utilização racional e integrada dos recursos hídricos, prevenção e defesa contra eventos hidrológicos críticos, além de medidas para aproveitamento das águas de chuva (BRASIL, 1997).

Nessa lei o termo qualidade e suas derivações aparecem 10 vezes, tanto no âmbito de seus objetivos e diretrizes, quanto nas seções reservadas a descrição dos instrumentos instituídos na Política para orientar a sua implementação: plano de recursos hídricos, enquadramento, outorga, cobrança e sistema de informações (BRASIL, 1997).

O plano de recursos hídricos se constitui no Plano Diretor das Águas e vem sendo instituído nas esferas nacional, estaduais e de bacias hidrográficas. Sua função é fundamentar e orientar a implementação da política, bem como promover a gestão das águas superficiais e subterrâneas (BRASIL, 1997; CNRH, 2001b).

O conteúdo mínimo do plano deve contemplar diagnósticos e prognósticos, alternativas de compatibilização, metas, estratégias, programas e projetos, conforme descrito no art. 7º da PNRH. O termo qualidade aparece de forma explícita em seus incisos III e IV, considerando a necessidade de melhoria deste aspecto, bem como a sua influência no balanço de disponibilidade e demandas, além de ser potencial indutor de conflitos. (BRASIL, 1997; CNRH, 2001b).

No caso do rio São Francisco, por meio da Deliberação do Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (CBHSF) nº 07 de 29 de julho de 2004, foi aprovado o seu Plano de Bacia pelo comitê (CBHSF, 2004). Já a atualização do Plano, foi aprovada, por meio da Deliberação CBHSF nº 91 de 15 de setembro de 2016, referente ao período de 2016 a 2025 (CBHSF, 2016a).

Considerando ainda os instrumentos previstos na PNRH, estabeleceu-se que concomitantemente com o plano, deve ser desenvolvida a proposta de enquadramento dos corpos d'água em classes, segundo os usos preponderantes da água. Estes são os dois instrumentos da política cuja função é de planejamento, pois possibilitam prever e solucionar problemas relacionados a gestão dos recursos hídricos (ANA, 2013).

O enquadramento visa assegurar a qualidade das águas compatível aos usos mais exigentes aos quais forem destinadas e reduzir os custos para combater a poluição, por meio de medidas preventivas (BRASIL, 1997). Constitui-se, portanto, em um instrumento que visa, sobretudo, a melhoria da qualidade das águas, por meio de diagnóstico, prognóstico, propostas de metas relativas as alternativas de enquadramento e programa para efetivação (CNRH, 2008). Este instrumento relaciona-se essencialmente à qualidade da água que se deseja e não a que se tem, considerando os usos atuais e futuros na bacia (MACHADO, KNAPIK e BITENCOURT, 2019).

A outorga facilita ao outorgado o direito do uso das águas, condicionada a disponibilidade hídrica e ao regime de racionamento, considerando a legislação vigente. Não obstante a disponibilidade hídrica possuir estrita relação com a qualidade de água para atendimento aos usos chama a atenção o fato de que o outorgado tem a obrigação de respeitar o direito de terceiros, o que implica dizer que determinado uso da água não pode prejudicar outros usos na bacia. Assim, as intervenções na bacia não podem alterar a qualidade da água de forma a comprometer os usos múltiplos (CNRH, 2001a).

São previstos como sujeitos à outorga, além dos usos para fins hidrelétricos, a captação/derivação de água superficial e extração de água subterrânea, bem como os lançamentos de esgotos e resíduos. Além destes, outros usos e/ou interferências que provoquem mudanças no regime, quantidade ou qualidade dos corpos hídricos (BRASIL, 1997).

Intrinsecamente ligado à outorga se encontra a cobrança dos recursos hídricos, pois a lei prevê a cobrança de valores monetários pelos usos de água outorgados. Esse instrumento objetiva reconhecer o valor econômico da água, inclusive pelo usuário, racionalizar o seu uso, obter recursos para

implementação dos Planos e estimular ações para proteção, preservação e recuperação de corpos hídricos. No que diz respeito ao lançamento de efluentes e resíduos, a cobrança deve observar além do seu volume e regime de variação, as suas características físico-químicas, biológicas e de toxicidade (BRASIL, 1997; CONAMA, 2005).

Reunindo dados e informações sobre os instrumentos anteriormente citados e apresentando-os a sociedade, mediante a descentralização na sua obtenção e produção, bem como na consolidação unificada destes se encontra o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos. Na PNRH são estabelecidos 3 objetivos para este instrumento, sendo que o primeiro deles se relaciona com a reunião, consistência e divulgação dos dados e informações relativos à situação qualitativa e quantitativa dos recursos hídricos no país (BRASIL, 1997).

Percebe-se então que o uso múltiplo das águas, um dos fundamentos da PNHR só pode ser alcançado com a efetivação destes instrumentos de gerenciamento e estes, por sua vez, só podem ser efetivados se o elemento qualitativo das águas for levado em consideração. O Quadro 1 complementa essa afirmação, pois contém trechos da Lei das Águas nos quais o termo qualidade ou derivações são mencionados.

Quadro 1 – Trechos da PNRH relacionados à qualidade das águas.

Item	Título	Trecho
Capítulo II	Dos objetivos	Art. 2º São objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos: I - assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos.
Capítulo III	Das diretrizes gerais de ação	Art. 3º Constituem diretrizes gerais de ação para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos: I - a gestão sistemática dos recursos hídricos, sem dissociação dos aspectos de quantidade e qualidade .
Capítulo IV: Seção I	Dos Planos de Recursos Hídricos	Art. 7º Os Planos de Recursos Hídricos são planos de longo prazo, com horizonte de planejamento compatível com o período de implantação de seus programas e projetos e terão o seguinte conteúdo mínimo: ...III - balanço entre disponibilidades e demandas futuras dos recursos hídricos, em quantidade e qualidade , com identificação de conflitos potenciais; IV - metas de racionalização de uso, aumento da quantidade e melhoria da qualidade dos recursos hídricos disponíveis.
Capítulo IV: Seção II	Do enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água	Art. 9º O enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água, visa a: I - assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas.
Capítulo IV: Seção III	Da outorga de direitos de uso de recursos hídricos	Art. 11. O regime de outorga de direitos de uso de recursos hídricos tem como objetivos assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água. Art. 12. Estão sujeitos a outorga pelo Poder Público os direitos dos seguintes usos de recursos hídricos: ...V - outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água.
Capítulo IV: Seção IV	Da cobrança pelo uso de recursos hídricos	Art. 22. Os valores arrecadados com a cobrança pelo uso de recursos hídricos serão aplicados prioritariamente na bacia hidrográfica em que foram gerados e serão utilizados: ...§ 2º Os valores previstos no caput deste artigo poderão ser aplicados a fundo perdido em projetos e obras que alterem, de modo considerado benéfico à coletividade, a qualidade , a quantidade e o regime de vazão de um corpo de água.
Capítulo IV: Seção VI	Do Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos	Art. 27. São objetivos do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos: I - reunir, dar consistência e divulgar os dados e informações sobre a situação qualitativa e quantitativa dos recursos hídricos no Brasil.
Capítulo VI	Das infrações e penalidades	Art. 49. Constitui infração das normas de utilização de recursos hídricos superficiais ou subterrâneos: ...II - iniciar a implantação ou implantar empreendimento relacionado com a derivação ou a utilização de recursos hídricos, superficiais ou subterrâneos, que implique alterações no regime, quantidade ou qualidade dos mesmos, sem autorização dos órgãos ou entidades competentes.

Fonte: Brasil (1997)

A PNRH estabelece complementarmente que a qualidade das águas deve assegurar os usos mais exigentes para os quais estas forem destinadas. Nesse sentido define o enquadramento como indutor do processo de busca por sua

melhoria. Segundo o art. 10 da PNRH, as classes de corpos de água para fins de enquadramento serão estabelecidas pela legislação ambiental (BRASIL, 1997).

Percebe-se por meio deste dispositivo o incentivo à integração entre a Política de Recursos Hídricos e a de Meio Ambiente, o que é essencial tendo em vista que as modificações ambientais além de alterar a qualidade dos corpos hídricos, podem ser identificadas por meio da avaliação destes, disponibilizando informações que permitem intervir nas ações antrópicas e mitigar os seus danos (CUNHA e CALIJURI, 2010; SOUZA e GASTALDINI, 2014; GUIMARÃES *et al.*, 2016; AMORIM *et al.*, 2017).

No Brasil optou-se por legislar sobre enquadramento e qualidade das águas superficiais e subterrâneas de forma dissociada. Essa decisão difere, por exemplo, da adotada pelo Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia, o qual objetivou estabelecer, por meio da Diretiva-Quadro da Água (DQA), Diretiva 2000/60/CE, um enquadramento para o alcance da boa qualidade das águas de superfície interiores, das águas de transição, das águas costeiras e das águas subterrâneas (DQA, 2000; ANA, 2012b).

No Brasil, a classificação e as diretrizes para o enquadramento das águas subterrâneas são definidos na Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente – Conama nº 396 de 03 de abril de 2008 (CONAMA, 2008). Já os critérios e padrões relativos ao controle e à manutenção da qualidade das águas superficiais são estabelecidos na Resolução Conama nº 357 de 17 de março de 2005, sendo apresentado a seguir um breve resumo desta normativa.

3.1.1 Resolução Conama nº 357/2005

A Resolução Conama nº 357/05 dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Visa, portanto, atender ao disposto no art. 9º da PNRH no que diz respeito à garantia de qualidade das águas compatível com os usos mais exigentes, bem como

redução dos custos de combate à poluição de corpos hídricos (BRASIL, 1997; CONAMA, 2005).

Esta Resolução considera essencialmente que: a água integra as preocupações do desenvolvimento sustentável; embora possam ser fixadas metas intermediárias visando efetivação do enquadramento, este instrumento expressa metas finais a serem alcançadas, considerando os níveis de qualidade que os corpos hídricos deveriam possuir para atender as necessidades da comunidade; a deterioração da qualidade da água não deve afetar a vida humana ou o ecossistema aquático e o controle da poluição evita esses prejuízos; e há necessidade de criar instrumentos para avaliar a evolução da qualidade da água considerando o que foi estabelecido no enquadramento (CONAMA, 2005).

A Resolução Conama nº 357/05 conceitua as classes de qualidade da água como conjunto de condições e padrões de qualidade visando atender aos usos preponderantes atuais e futuros. Segundo esta normativa a classificação consiste em qualificar as águas doces, salobras e salinas em função dos usos preponderantes atuais e futuros, por meio de 13 classes conforme apresentado no Quadro 2, sendo definido conforme a salinidade: água doce $\leq 0,5\text{‰}$, salobra $>0,5\text{‰}$ e $\leq 30\text{‰}$ ou salina $>30\text{‰}$ (CONAMA, 2005).

Quadro 2 – Classes de água

Águas Doces	Águas Salobras	Águas Salinas
Cinco Classes	Quatro Classes	Quatro Classes
Classe Especial, 1, 2, 3 e 4	Classe Especial, 1, 2 e 3	Classe Especial, 1, 2 e 3

Fonte: Adaptado de Conama (2005)

Conforme dito anteriormente, a divisão por classes considera os usos dos corpos hídricos. Para simplificar poderia se dizer que quanto mais alta a numeração da classe, menos nobres os usos aos quais se destinam a água inserida nesta classificação em relação as demais. Assim a classe especial é destinada a preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação e preservação do equilíbrio das comunidades aquáticas, além de abastecimento humano após simples desinfecção, neste último caso somente para águas doces. Inversamente, a classe 4 de águas doces e a 3 de águas

salobras e salinas são destinadas à navegação e a harmonia paisagística (CONAMA, 2005).

Em seu capítulo III, a Resolução Conama nº 357/05 apresenta condições e padrões de qualidade da água para cada classe. As condições são definidas para um segmento de corpo d'água em termos dos usos possíveis com segurança adequada, frente as classes, já os padrões estabelecem os limites individuais de cada substância (CONAMA, 2005). Considerando a mesma lógica de classificação descrita no parágrafo anterior, pode-se afirmar que quanto maior a classe de água, menos restritivas são as condições e padrões de qualidade.

Para exemplificar, considere-se o Quadro 3 na qual constam os limites estabelecidos na resolução 357 em quatro classes de água doce, para os parâmetros Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Oxigênio Dissolvido (OD), os quais segundo Calmon *et al.* (2016) e Machado, Knapik e Bitencourt (2019) permitem avaliar a presença de esgotos sanitários, sendo dessa forma usualmente utilizados pelos órgãos ambientais para implementação e avaliação dos instrumentos da PNRH, especialmente o enquadramento.

Quadro 3 – Concentração de DBO e OD

Parâmetro	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
DBO (mg.L ⁻¹ O ₂)	≤ 3	≤ 5	≤ 10	Não definido
OD (mg.L ⁻¹ O ₂)	≥ 6	≥ 5	≥ 4	≥ 2,0

Fonte: Brasil (2005)

Tanto o OD quanto a DBO permitem avaliar a carga orgânica presente nos corpos hídricos, bem como sua capacidade de autodepuração (AMORIM *et al.*, 2017). Quanto maior a quantidade de matéria orgânica presente no meio aquático, menor a concentração de OD, pois os microrganismos utilizam oxigênio para decompor este material. Inversamente será a DBO: maior é a demanda bioquímica de oxigênio neste processo de depuração. Por isso é possível observar que para classe 1 não deve ser excedido o valor de 3 mg.L⁻¹ de DBO e a concentração de OD deve ser maior ou igual a 6 mg.L⁻¹ de DBO.

Considerando-se que a classe 1 destina-se: ao abastecimento humano, após tratamento simplificado; à proteção das comunidades aquáticas, inclusive em terras indígenas; à recreação de contato primário; à irrigação de alguns

tipos de hortaliças e frutas, justifica-se as maiores concentrações de oxigênio nos corpos hídricos assim classificados. Baixos valores de oxigênio podem induzir, por exemplo, a perda de biodiversidade aquática, sendo, portanto, ambientes nestas condições incompatíveis com a finalidade de proteção de comunidades aquáticas (PINHO *et al.*, 2018).

Embora a Resolução nº 357 favoreça a classificação de corpos d'água a partir da comparação entre os resultados obtidos por meio da avaliação de seus parâmetros com os que foram estabelecidos em cada classe, essa não se constitui na essência desta normativa. A proposta de metas finais e intermediárias que garantam a estes corpos hídricos qualidade compatível com os usos preponderantes pretendidos é o seu objetivo principal, sendo esta a função do enquadramento (REIS *et al.*, 2019).

Segundo Cunha *et al.* (2013), durante a avaliação da qualidade de corpos hídricos do estado de São Paulo considerando o enquadramento a partir da publicação da Resolução nº 357 em 2005 até 2009, concluíram que esta resolução não serve apenas para avaliar conformidades ou não conformidades nos corpos hídricos em relação aos valores estabelecidos para os parâmetros em cada classe. Para eles se constitui em um normativo jurídico que visa a melhoria da qualidade da água por meio de planejamento a ser conduzido pelo comitê de bacias com vistas a atender os usos mais nobres, alcançando assim a longo prazo a sustentabilidade.

O Comitê de Bacia Hidrográfica é uma figura prevista fundamentalmente na PNRH para garantir que a gestão dos recursos hídricos seja descentralizada, sendo um grupo constituído pelo poder público, usuários e comunidades (BRASIL, 1997).

3.1.2 Comitês de Bacias Hidrográficas

O Comitê de Bacia Hidrográfica ou comitê como popularmente é conhecido o órgão colegiado vinculado à bacia hidrográfica de sua área de jurisdição possui atribuições normativas, deliberativas e consultivas a serem exercidas nesta área.

Segundo Kemerich *et al.* (2016), os comitês sintetizam as diretrizes da PNRH, sendo espaço institucional para tomada de decisões de forma descentralizada, participativa e integrada. Para Siegmund-Schultze *et al.* (2019), os comitês respondem pelo pioneirismo no processo de busca pela consolidação da repartição de direitos e responsabilidades entre os segmentos públicos e privados da sociedade denominado governança, o qual visa o fortalecimento democrático.

Três anos após ter sido sancionada a PNRH, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), por meio da Resolução nº 05 de 10 de abril de 2000 estabeleceu as diretrizes para formação e funcionamento dos comitês (CNRH, 2000). Segundo esta resolução os comitês tem como atribuições: arbitrar conflitos em primeira instância; aprovar o Plano de recursos hídricos; aprovar propostas submetidas pela Agência de Água; promover a compatibilização entre os planos de bacia dos rios tributários com o plano da bacia sob sua jurisdição; realizar audiência pública para apresentação do Plano; desenvolver e apoiar ações de educação ambiental; além de aprovar seu regimento interno.

Por ser o parlamento das águas no âmbito da bacia hidrográfica na área sob sua jurisdição, também se constitui em responsabilidade do comitê, a discussão, aprovação e posterior encaminhamento para deliberação ao Conselho de Recursos Hídricos, das propostas de alternativas de enquadramento, que devem ser desenvolvidas em conformidade com o Plano e preferencialmente durante a elaboração deste (CNRH, 2008).

A responsabilidade do comitê relativa ao enquadramento demonstra a importância do monitoramento da qualidade da água e disponibilização das informações pertinentes a este parlamento, possibilitando-lhe definir as metas de qualidade a serem alcançadas pelos corpos hídricos (TORRES, MEDEIROS e FREITAS, 2016). Para Lamparelli (2004), os comitês vêm reforçar a importância do conhecimento da qualidade dos corpos hídricos e considerando o estado de São Paulo, afirma:

A implantação dos Comitês de Bacias Hidrográficas no Estado de São Paulo, também tem provocado um aumento na demanda por dados comprehensíveis e confiáveis de qualidade

ambiental das diferentes regiões do Estado e seus respectivos corpos d'água, tanto para o estabelecimento de metas de qualidade, como de prioridades no investimento de recursos financeiros (LAMPARELLI, 2004, p. 9).

A situação apresentada para as bacias do estado de São Paulo se aplica a diversidade de bacias espalhadas no Brasil, demonstrando a importância da adequada caracterização dos corpos hídricos nacionais, o que inclui o levantamento de dados sobre os principais problemas que deterioram a sua qualidade, como, por exemplo, a eutrofização.

3.2 EUTROFIZAÇÃO

A eutrofização é um problema que afeta a qualidade de corpos hídricos em várias partes do mundo e tem sido objeto de constante investigação (BUCCI e OLIVEIRA, 2014; SILVA *et al.*, 2018). Estudiosos de vários países têm buscado entender o processo da eutrofização, fatores que o induzem, metodologias para avaliação, além de propor medidas para sua remediação; Padedda *et al.* (2017) na Itália, Butt e Nazeer (2015) no Paquistão, Longley *et al.* (2019) nos Estados Unidos e Zhang *et al.* (2018) na China.

A palavra eutrofização tem origem grega, sendo a junção de dois termos “eu” que significa muito e “trofia”, correspondendo a alimentação ou nutrição. Portanto atribui-se a um corpo hídrico eutrofizado o excesso de nutrientes, sobretudo fósforo e nitrogênio (CHEN *et al.*, 2016; ESTEVES, 2011; MACHADO, KNAPIK e BITENCOURT, 2019; WANG, LIU e ZENG, 2013).

Tais nutrientes, especialmente o fósforo, são limitantes da atividade primária, o que implica dizer que o seu excesso provoca um desequilíbrio no ecossistema aquático, com consequente proliferação do fitoplâncton e de macrófitas aquáticas (BEM, BRAGA e AZEVEDO, 2013; CHEN *et al.*, 2016; PINHO *et al.*, 2018).

A eutrofização compromete os usos múltiplos da água, pois deteriora a sua qualidade (ARAÚJO, MENDONÇA e REIS, 2018). É um tipo de poluição que altera a cor, sabor e odor da água. Associado a este fenômeno pode ocorrer a redução do oxigênio dissolvido na massa d'água que pode provocar redução da biodiversidade e até morte de espécies de peixes e outros seres

vivos, prejudicando o equilíbrio do ecossistema aquático (BEM, BRAGA e AZEVEDO, 2013; GARCIA NIETO *et al.*, 2019; LIN *et al.*, 2020; PINHO *et al.*, 2018; RAUEN *et al.*, 2018).

Segundo Silva *et al.* (2018), a redução na qualidade da água provocada pela eutrofização pode implicar em maiores custos para seu tratamento visando abastecimento à população. Além disso, o excesso de nutrientes nas águas pode desencadear florações de cianobactérias (PIRES *et al.*, 2015; WANG, LIU e ZENG, 2013), as quais podem liberar toxinas que são prejudiciais a saúde humana e não são adequadamente removidas nos processos convencionais de tratamento.

Embora se perceba que a eutrofização é impactante aos ecossistemas aquáticos e aos usuários dos mananciais deteriorados, são as próprias atividades humanas responsáveis por desencadear este processo (BARRETO *et al.*, 2014; BUCCI e OLIVEIRA, 2014).

Ademais, ainda que a eutrofização possa se desenvolver de forma natural, por meio de um processo lento e gradual que corresponde ao envelhecimento do ambiente aquático (BRAGA *et al.*, 2005; ESTEVES, 2011), os casos de eutrofização artificial ou antrópica vem sendo relatados com frequência e, por isso são objeto de preocupação da comunidade científica e do poder público.

As principais fontes antrópicas de fósforo, um dos principais indutores da eutrofização, são os esgotos domésticos, devido aos detergentes e excretas humanas sem tratamento, ou com tratamento ineficiente para remoção de nutrientes. Além destes, os efluentes de indústrias de alimentos e os agropastoris, neste caso com a parcela agrícola mais significativa. Mesmo a agricultura de sequeiro exerce forte influência na qualidade da água, tanto pelos insumos associados quanto pelo desmatamento empregado para aumento nas áreas de cultivo, que torna os solos mais suscetíveis a erosão e a disponibilidade de materiais para carreamento aos corpos hídricos pela ação da chuva (ESTEVES, 2011; ANA, 2012a).

Tendo em vista que o estado de trofa dos corpos d’água inseridos em uma bacia é o reflexo de ações antrópicas, conhecê-lo favorece melhor gestão

dos recursos hídricos, que é um dos fundamentos da Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997). O Índice do Estado Trófico ao classificar um corpo hídrico em diferentes graus de trofia, possibilita avaliá-lo quanto ao enriquecimento de nutrientes e seus efeitos na produtividade primária (BUCCI e OLIVEIRA, 2014; SPERLING, 2005).

Segundo Cunha, Calijuri e Lamparelli (2013), os Índices do Estado Trófico (IET) são importantes para avaliação da qualidade da água, devido à facilidade de seu cálculo, interpretação e explicação. Neste aspecto, Bem, Braga e Azevedo (2013), considerando um IET aprimorado no Brasil para regiões tropicais e subtropicais complementam:

Em bacias que possuem elevada carga de matéria orgânica, nutrientes e outros poluentes, a determinação do IET permite uma avaliação consistente do estado de degradação do corpo aquático. No que se refere à eutrofização das águas continentais, o resultado do cálculo deste índice pode orientar a tomada de decisão sobre a gestão dos recursos hídricos, pois este índice é de fácil aplicação devido à praticidade das determinações analíticas dos parâmetros fósforo total e clorofila-a, além de ser de fácil interpretação (BEM, BRAGA e AZEVEDO, 2013, p. 43).

Percebe-se, portanto, que o IET se configura em uma ferramenta que pode auxiliar na avaliação da qualidade da água, contribuindo para sua gestão (LOPES *et al.*, 2019).

3.3 ÍNDICE DO ESTADO TRÓFICO

Até a década de 70 a avaliação da eutrofização era feita de forma empírica. Em 1974 Carlson propôs uma metodologia, a qual foi aprimorada em 1977 e 1980 para “tornar mais objetiva a resposta de estudos envolvendo a eutrofização e a classificação de corpos aquáticos” (BEM, BRAGA e AZEVEDO, 2013, p. 42), considerando as relações empíricas entre três variáveis: fósforo total, clorofila a e transparência do disco de Secchi (CUNHA, CALIJURI e LAMPARELLI, 2013), determina o Índice do Estado Trófico (IET).

Segundo Gomez (2015), a premissa deste método é que a biomassa algal é a principal constituinte do material particulado suspenso e que a profundidade medida por meio do disco de Secchi varia em função deste. O resultado de

qualquer uma das três variáveis seria suficiente para caracterizar o estado trófico de um corpo hídrico, pois elas estão relacionadas por meio de modelos de regressão linear, devendo, portanto, apresentar o mesmo resultado.

Como este IET foi desenvolvido considerando lagos de origem glacial de zonas temperadas, percebeu-se a necessidade de adequá-lo para caracterizar corpos hídricos de regiões tropicais e subtropicais (LIMA *et al.*, 2015). Os limites estabelecidos para as regiões temperadas podem superestimar a condição de enriquecimento de ambientes aquáticos tropicais (CUNHA, CALIJURI e LAMPARELLI, 2013).

Segundo Silvino e Barbosa (2015), o índice desenvolvido por Carlson (1977) é considerado menos tolerante à níveis elevados de fósforo e mais conservador em relação a definição do estado trófico, por isso classificou o Lago Sumidouro, no estado de Minas Gerais como eutrófico, enquanto os autores concluíram tratar-se de mesotrófico na estação chuvosa, após avaliação de outros fatores envolvidos.

Araújo, Mendonça e Reis (2018) em sua pesquisa comprovaram que o IET de Carlson (1977) superestimou a eutrofização dos reservatórios de Rio Bonito e Suíça quando comparado a modelos e índices desenvolvidos para ambientes subtropicais/tropicais.

Um destes modelos adaptados para ambientes tropicais e subtropicais foi proposto por Toledo Júnior *et al.* (1983), o qual visava determinar o estado trófico de reservatórios do Estado de São Paulo e na análise de regressão linear feita, considerava além dos parâmetros fósforo total, clorofila *a* e transparência do disco de Secchi, o ortofosfato (BEM, BRAGA e AZEVEDO, 2013). Segundo Cunha, Calijuri e Lamparelli (2013), foram propostos outros modelos como Salas e Martino (1991) e Lamparelli (2004).

No estudo já citado do Lago do Sumidouro, o índice de Carlson modificado por Toledo Júnior *et al.* (2013) subestimou o estado trófico do Lago, classificando-o como oligotrófico, enquanto os índices de Salas e Martino (1991) e Carlson (1977), modificado por Lamparelli (2004) apresentaram resultados mais apropriados, haja vista considerarem o adequado aporte de fósforo.

O índice proposto por Lamparelli (2004) foi difundido pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – Cetesb e vem sendo utilizado para avaliar corpos hídricos em diversos estados brasileiros, como reportado por Bem, Braga e Azevedo (2013) no Paraná, Bucci e Oliveira (2014) em Minas Gerais, Araújo, Mendonça e Reis (2018) no Espírito Santo e Lopes *et al.* (2019) na Bahia.

Este método desconsidera a transparência, tendo em vista a influência exercida pela turbidez neste parâmetro. São previstas equações específicas para ambientes lóticos e lênticos, sendo que em ambos os casos o IET é o resultado da média entre os índices calculados para o fósforo total e para a clorofila a (Equação 1).

As Equações 2 e 3 são utilizadas para avaliar o IET de rios e demais ambientes lóticos, enquanto as Equações 4 e 5 foram propostas para avaliar reservatórios, mas vem sendo empregadas para avaliar outros ambientes lênticos, como, por exemplo, o lago do rio Barigui em Curitiba, Paraná conforme relatado por Bem, Braga e Azevedo (2013).

$$IET = \frac{IET(Cl\ a) + IET(P_t)}{2} \quad (1)$$

$$IET(Cl\ a) = 10x(6 - (\frac{-0,7 - 0,6x(\ln Cl\ a)}{\ln 2})) - 20 \quad (2)$$

$$IET(P_t) = 10x(6 - (\frac{0,42 - 0,36x(\ln P_t)}{\ln 2})) - 20 \quad (3)$$

$$IET(Cl\ a) = 10x(6 - (\frac{-0,92 - 0,34x(\ln Cl\ a)}{\ln 2})) \quad (4)$$

$$IET(P_t) = 10x(6 - (\frac{1,77 - 0,42x(\ln P_t)}{\ln 2})) \quad (5)$$

Onde:

P_t = concentração de fósforo total, em $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$;

$Cl\ a$ = concentração de clorofila a, em $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$;

\ln : Logaritmo natural.

As equações apresentadas tem como premissa que o fósforo é o principal fator limitante da eutrofização, por isso as regressões consideraram as concentrações deste nutriente e da clorofila *a*, pigmento fotossintetizante indicador de biomassa algal (LAMPARELLI, 2004).

Os dados de entrada da regressão são oriundos do Banco de Dados da Rede de Monitoramento da Qualidade das Águas do Estado de São Paulo, sob responsabilidade da Cetesb. Na análise da correlação entre fósforo total e clorofila *a*, foram consideradas as médias das médias geométricas de cada ponto nos anos de coleta em que se dispunha de pelo menos três amostras para estes parâmetros, a partir de dados de monitoramento existentes entre os anos de 1996 e 2000.

A partir dos resultados das equações citadas e considerando padrões de qualidade da água nacional e internacionais, foi proposto o Índice do Estado Trófico (LAMPARELLI, 2004), com indicação de seis intervalos de classificação conforme consta no Quadro 4.

Justifica-se o emprego de equações e consequentemente classificações distintas para corpos hídricos lóticos e lênticos, pois neste último as condições são mais propícias a eutrofização, tendo maior sensibilidade ao aporte de nutrientes. De acordo com Vargas *et al.* (2018), os rios e riachos embora não apresentem condições favoráveis à eutrofização, devido a fatores como velocidade e turbidez alta, podem contribuir para que este fenômeno se desenvolva nos ambientes lênticos por eles alimentados. Segundo Lin *et al.* (2020) os corpos hídricos afluentes se constituem na principal fonte de transporte de poluentes para os lagos.

Quadro 4 – Classificação do IET para rios e reservatórios

Categoria (Estado Trófico)	Ponderação	Rios		Reservatórios	
		Fósforo Total (mg. m ⁻³)	Clorofila a (mg. m ⁻³)	Fósforo Total (mg. m ⁻³)	Clorofila a (mg. m ⁻³)
Ultraoligotrófico	IET≤47	P≤13	CL≤0,47	P≤8	CL≤1,17
Oligotrófico	47<IET≤52	13<P≤35	0,74<CL≤1,31	8<P≤19	1,17<CL≤3,24
Mesotrófico	52<IET≤59	35<P≤137	1,31<CL≤2,96	19<P≤52	3,24<CL≤11,03
Eutrófico	59<IET≤63	137<P≤296	2,96<CL≤4,70	52<P≤120	11,03<CL≤30,55
Supereutrófico	63<IET≤67	296<P≤640	4,70<CL≤7,46	120<P≤233	30,55<CL≤69,05
Hipereutrófico	IET>67	P>640	CL>7,46	P>233	CL>69,05

Fonte: Lamparelli (2004)

A partir do Quadro 4 verifica-se que os corpos hídricos da categoria ultraoligotrófica possuem os menores valores de fósforo total, enquanto os que pertencem à última categoria, hipereutrófica, possuem os maiores valores deste parâmetro. Portanto, quanto maior o grau de trofia, maior a concentração de nutrientes no corpo hídrico e consequentemente maior a produtividade primária, refletida por meio de maiores valores de clorofila a (BRAGA *et al.*, 2005). O Quadro 5 apresenta um resumo das principais características comumente existentes em cada uma das categorias do estado trófico.

Quadro 5 – Categorias do estado trófico

Categoria	Concentração de nutrientes	Produtividade	Prejuízo aos usos múltiplos
Ultraoligotrófico	Insignificante	Muito baixa	Inexistente
Oligotrófico	Baixa	Baixa	Inexistente
Mesotrófico	Moderada	Intermediária	Possível
Eutrófico	Alta	Alta	Alto
Supereutrófico	Elevada	Elevada	Alto
Hipereutrófico	Máxima	Excessiva	Bastante alto

Fonte: Adaptado de ANA (2017), Inema (2013), Lamparelli (2004), Lin *et al.* (2020), Tundisi e Tundisi (2008)

Corpos hídricos mesotróficos representam um baixo prejuízo aos usos múltiplos. A partir da classificação eutrófica este prejuízo já é considerado alto.

Uma vez que, conforme já citado, um dos objetivos da Resolução Conama nº 357 é classificar os corpos d’água visando atender aos usos preponderantes atuais e futuros, o Quadro 6 apresenta, a partir dos limites de fósforo total e clorofila a, uma comparação entre essa normativa, considerando águas doces e a classificação proposta por Lamparelli (2004) para o estado trófico.

Quadro 6 – Valores máximos permitidos na Resolução Conama nº 357/05 para os parâmetros que compõem o IET

Parâmetro / Classe		Classe 1	Classe 2	Classe 3
Clorofila a	Lótico	$Cl\ a \leq 10 \mu\text{g.L}^{-1}$ Ultraoligotrófico a Hipereutrófico	$10 \mu\text{g.L}^{-1} \leq Cl\ a \leq 30 \mu\text{g.L}^{-1}$ Hipereutrófico	$30 \mu\text{g.L}^{-1} \leq Cl\ a \leq 60 \mu\text{g.L}^{-1}$ Hipereutrófico
	Lêntico	$Cl\ a \leq 10 \mu\text{g.L}^{-1}$ Ultraoligotrófico a Mesotrófico	$10 \mu\text{g.L}^{-1} \leq Cl\ a \leq 30 \mu\text{g.L}^{-1}$ Mesotrófico a Eutrófico	$30 \mu\text{g.L}^{-1} \leq Cl\ a \leq 60 \mu\text{g.L}^{-1}$ Eutrófico a Supereutrófico
Fósforo total	Lótico	$P_{\text{total}} \leq 0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ Ultraoligotrófico a Mesotrófico	$P_{\text{total}} \leq 0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ Ultraoligotrófico a Mesotrófico	$0,1 \text{ mg.L}^{-1} \leq P_{\text{total}} \leq 0,15 \text{ mg.L}^{-1}$ Mesotrófico a Eutrófico
	Lêntico	$P_{\text{total}} \leq 0,02 \text{ mg.L}^{-1}$ Ultraoligotrófico a Mesotrófico	$0,02 \text{ mg.L}^{-1} \leq P_{\text{total}} \leq 0,03 \text{ mg.L}^{-1}$ Mesotrófico	$0,03 \text{ mg.L}^{-1} \leq P_{\text{total}} \leq 0,05 \text{ mg.L}^{-1}$ Mesotrófico

Fonte: Adaptado de Conama (2005) e Lamparelli (2004)

De acordo como o artigo 13 da Resolução Conama nº 357/05, para os corpos hídricos de classe especial deverão ser mantidas as condições naturais, não havendo assim estabelecido valores máximos para os parâmetros que compõem o IET. Estes valores máximos também não foram referenciados para os corpos hídricos classe 4, por isso não foram apresentados no Quadro 6 (CONAMA, 2005).

Observa-se que a Resolução Conama nº 357/05 não faz distinção entre corpos hídricos lóticos e lênticos no que se refere a limites para clorofila *a*. Apesar disso, os estados tróficos destes diferentes ambientes não coincidem ainda que pertençam a mesma classe. Por exemplo, rios classe 2, segundo a concentração de clorofila *a* estabelecida na Resolução ($10 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1} \leq \text{Cl } a \leq 30 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$), seriam considerados hipereutróficos ($\text{Cl } a \geq 7,47 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$), conforme a classificação proposta por Lamparelli (2004). Lagoas com o mesmo intervalo de concentração poderiam ser classificadas entre mesotróficas ($3,24 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1} < \text{Cl } a \leq 11,03 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$) e eutróficas ($11,03 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1} < \text{Cl } a \leq 30,55 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$).

4 METODOLOGIAS DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EMPREGADAS

O método de abordagem empregado foi o indutivo ou de conexão ascendente, pois parte-se de constatação mais particular para leis e teorias (MARCONI e LAKATOS, 2018). Neste tipo de metodologia as conclusões são prováveis, mas nem sempre garantidas.

Para obtenção dos dados utilizou-se da documentação direta, por meio de pesquisa de campo, caracterizada pela abordagem do objeto de estudo e levantamento das informações no próprio ambiente e nas condições que ocorre naturalmente. Mas também se utilizou da documentação indireta, por meio da pesquisa em fontes primárias, também denominada pesquisa documental e em fontes secundárias ou pesquisa bibliográfica (MARCONI e LAKATOS, 2018).

As fontes primárias correspondem aos órgãos que realizam as observações, como os responsáveis por disponibilizar dados de clima, por exemplo. Para subsidiar o presente estudo, foi utilizada como uma fonte primária, a página eletrônica do Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet) onde foram obtidos os dados de variáveis climatológicas, as quais podem influenciar na qualidade da água dos corpos hídricos.

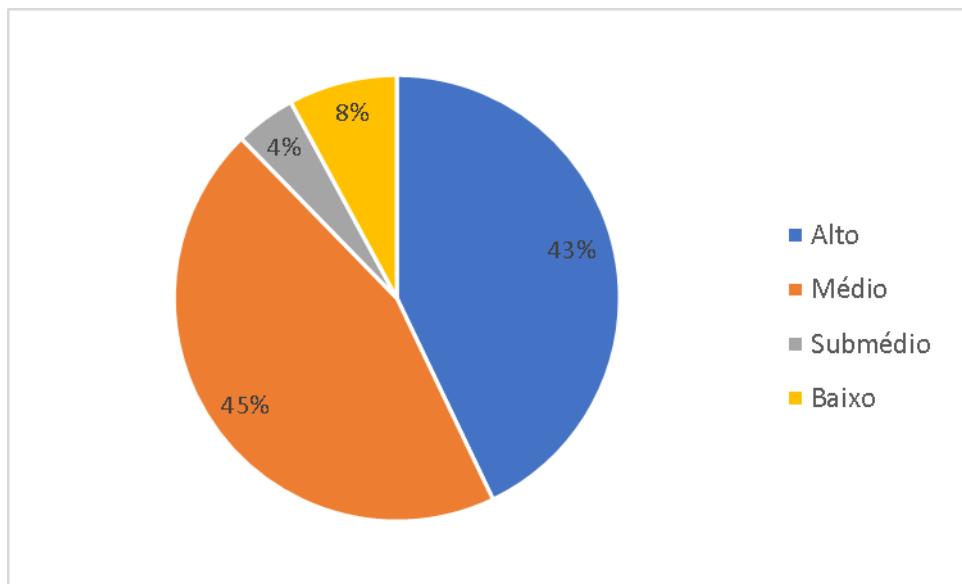
Já acerca da pesquisa bibliográfica, segundo Marconi e Lakatos (2018), esta consiste no levantamento de estudos relacionados ao objeto a ser analisado, portanto está relacionada a referências já publicadas, tais como: artigos científicos, livros, teses e dissertações.

4.1 ÁREA DE ESTUDO

A bacia do rio São Francisco é a terceira maior do Brasil em extensão, estando dividida em quatro regiões para fins de gestão: Alto, Médio, Submédio e Baixo São Francisco. O médio, com extensão de 1.230 km, localiza-se entre Pirapora, Minas Gerais e Remanso na região Norte do estado da Bahia, compreendendo, dentre outras, as sub-bacias dos rios Jacaré, Paracatu, Urucuia, Carinhanha, Corrente, Grande, Verde Grande e Paramirim. Juntamente com o Alto possui as vazões mais representativas da bacia, em

torno de 88% (ANA, 2012a; CHRISTOFIDIS, 2001; CODEVASF, 2001; GODINHO e GODINHO, 2003; LUZ *et al.*, 2009). O gráfico da Figura 1 permite ver a distribuição das vazões nas quatro regiões desta bacia.

Figura 1 – Contribuições de vazões para a bacia do rio São Francisco



Fonte: Adaptado de Codevasf (2001)

A sazonalidade na região de estudo é bem definida. O período úmido geralmente ocorre entre os meses de outubro e março, sendo o restante do ano seco, ocorrendo inclusive meses com precipitação nula. Entre os anos de 2012 e 2017 os volumes de chuva nos períodos úmidos foram abaixo da média, sendo 2017 considerado muito seco a extremamente seco na bacia e as vazões dos rios acompanharam o comportamento das chuvas, variando de muito baixas a extremamente baixas (ANA, 2018).

Uma das principais atividades desenvolvidas no rio São Francisco é a pesca, cuja importância é histórica e de destaque nacional, configurada como importante fonte de renda para a população ribeirinha. Essa atividade tem sido impactada devido à redução do pescado, que pode estar associada aos barramentos para construção de hidrelétricas, que afetam diretamente o regime de vazões do rio, além das mudanças climáticas, cujos efeitos são sentidos de forma imediata na região semiárida que corresponde a 57% desta bacia, bem como pelo uso inadequado do solo. Este compromete a qualidade da água,

especialmente das lagoas marginais. (ANA, 2012a; ANA, 2017; GODINHO e GODINHO, 2003; LUZ *et al.*, 2009).

Esses ecossistemas aquáticos são formados ao longo do rio e seu volume varia em função da precipitação, muitas vezes transformando-se em um único ambiente com a unidade fluvial, favorecendo a passagem da ictiofauna, renovação da água do ambiente límnetico, bem como a troca de diversos elementos essenciais para manutenção do ecossistema local (ESTEVES, 2011).

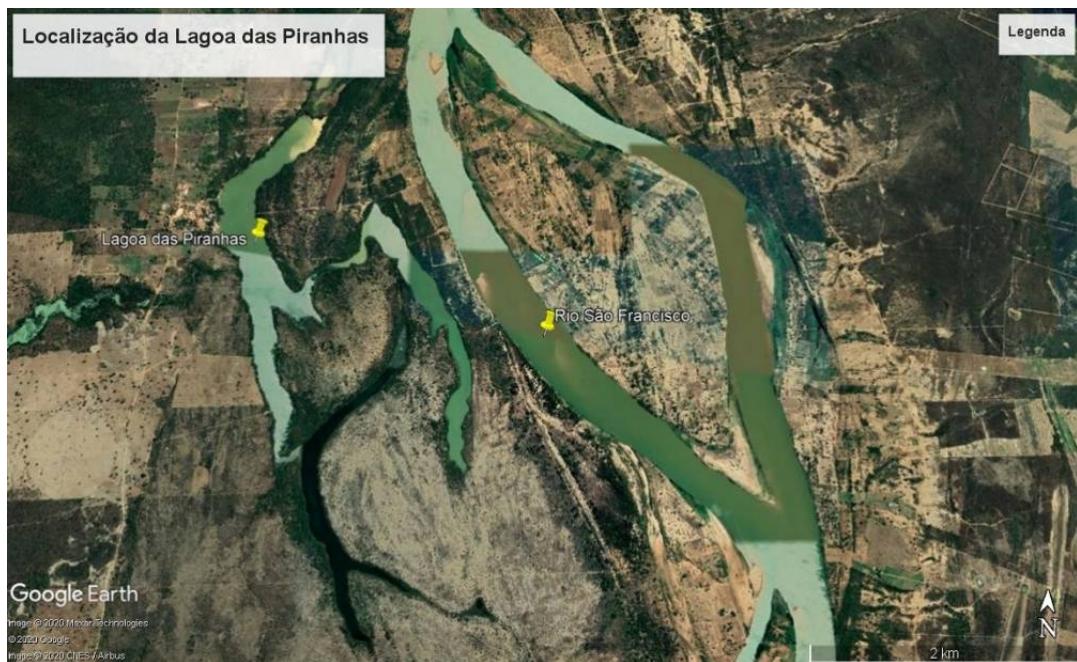
As lagoas marginais constituem-se em importantes habitats para a reprodução, alimentação e refúgio dos peixes, tendo de forma mais intensa o ciclo de nutrientes e a produtividade primária, disponibilizando, de forma abundante, recursos alimentares para as fases iniciais de desenvolvimento de peixes. Para as espécies migratórias, o sucesso do processo reprodutivo depende, em alguma fase, da disponibilidade e manutenção dessas lagoas marginais e várzeas (LUZ *et al.*, 2009).

Diante disso Lin *et al.* (2021) salientam que os lagos são importantes para o desenvolvimento local, cuja gestão deve ser priorizada por se tratar de ecossistemas frágeis.

4.1.1 Lagoa das Piranhas

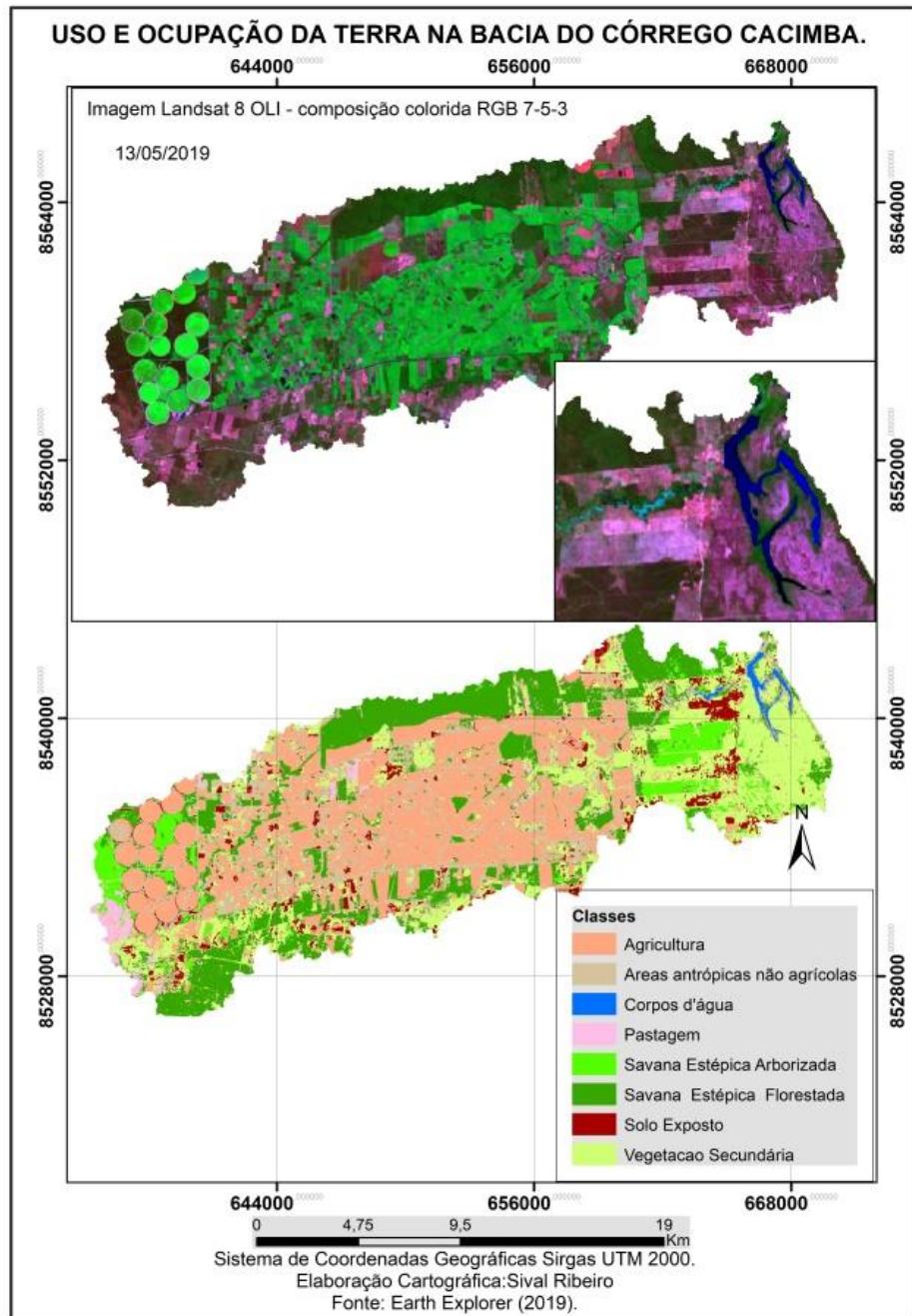
A Lagoa das Piranhas consiste em uma lagoa marginal que se formou a partir de uma depressão localizada à margem esquerda do rio São Francisco, nos limites do município de Bom Jesus da Lapa (Figura 2). Pertencente a bacia hidrográfica do córrego das Cacimbas, com ocupação predominantemente agrícola (Figura 3), apresenta uma superfície de inundação da ordem de 150 ha quando em período de cheia e formato alongado com aproximadamente 5 km de extensão.

Figura 2 – Lagoa das Piranhas, Bom Jesus da Lapa-BA.



Fonte. Google Earth (2020)

Figura 3 – Bacia Hidrográfica do riacho das Cacimbas



Fonte: Ribeiro (2020)

Durante o período de cheia, a lagoa se conecta com o rio São Francisco através de um canal situado na sua porção norte. Neste foi construída uma comporta para evitar que a lagoa esvazie no período de seca (Figuras 4 e 5), a qual é controlada manualmente pela própria população, fazendo com que este corpo hídrico funcione como um reservatório.

A Lagoa das Piranhas recebe também ao longo de vários meses do ano contribuições do riacho das Cacimbas, que nasce no município de Serra do Ramalho, o qual embora originalmente intermitente possui características atuais próximas de corpo hídrico perene devido a drenagem do Projeto Público de Irrigação Formoso A/H (Formoso A/H). Acerca deste aspecto, Rocha (2016) ressalta:

A construção e revitalização dos drenos do Projeto Formoso, aliadas a uma maior quantidade de água na área, resultaram no aumento da vazão do riacho das Cacimbas [...] e, consequentemente, do nível da Lagoa das Piranhas, a qual, mesmo com as crescentes e constantes secas e a baixa do nível do São Francisco, continua abastecida e com alimentação constante durante todo o ano (ROCHA, 2016, p. 180).

Figura 4 – Vista frontal da comporta na Lagoa das Piranhas



Fonte: Bastos (2018)

Figura 5 – Vista lateral da comporta na Lagoa das Piranhas



Fonte: Bastos (2018)

Na margem esquerda da Lagoa das Piranhas, se estabeleceu uma comunidade (Figura 6) cujo território ocupado foi reconhecido pela Portaria do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (Incra) nº 662 de 24 de abril de 2018 como “terras da Comunidade Remanescente de Quilombo de Lagoa das Piranhas” (INCRA, 2018). Essa comunidade é composta por aproximadamente 109 famílias e as principais atividades econômicas desenvolvidas dependem da lagoa, como a pesca artesanal e a agricultura de subsistência.

Figura 6 – Localização da comunidade



Fonte: Google Earth (2021)

Embora a comunidade utilize a água da lagoa para consumo humano após tratamento, este manancial também serve para dessedentação animal e lavagem de utensílios e roupas. Na lagoa não existe qualquer barreira que impeça o acesso de animais (Figura 7), a qual também é utilizada para o lazer de moradores de diversas localidades do município de Bom Jesus da Lapa.

Figura 7 – Presença de animais na Lagoa das Piranhas



À montante dessa lagoa está localizado o Projeto Público de Irrigação Formoso, etapas A e H, que se desenvolveu às margens do rio Corrente, um dos principais afluentes do rio São Francisco em seu trecho médio.

4.1.2 Projeto Público de Irrigação Formoso A/H

A etapa A do Projeto Público de Irrigação Formoso entrou em operação no ano de 1998 e a H em 1999. A gestão é realizada pelo Distrito de Irrigação Formoso (DIF) com apoio do Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR), por meio da Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e Parnaíba (Codevasf).

O Formoso A/H, assim como outros empreendimentos similares visa atender ao objetivo de fornecimento de água e drenagem para a agricultura irrigada, que se apresenta como importante atividade econômica, em especial na região semiárida e incorpora em sua concepção conceitos relativos a planejamento, qualidade e quantidade de água (BRASIL, 2013).

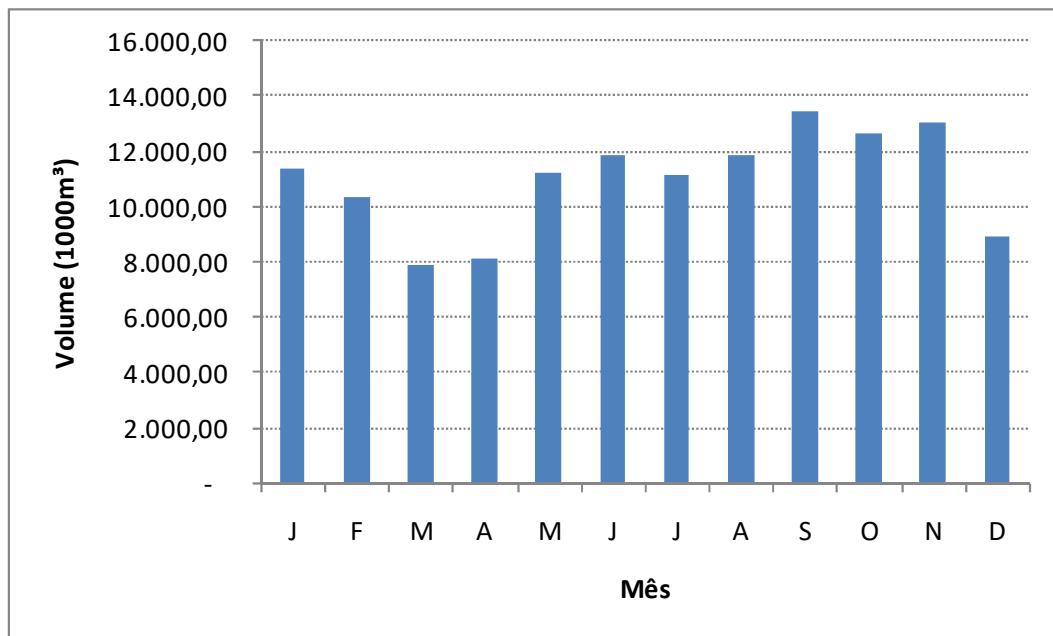
A área total do Projeto é de 19.500 ha, sendo 12.100 ha de área irrigável. Esta última se divide em lotes de pequenos produtores com área variando entre 4,2 e 6,5 ha e empresarial variando entre 10 e 100 ha. O investimento

realizado pelo Governo Federal neste empreendimento foi da ordem de 765 milhões, resultando em 94,27 km de canais, 15 km de adutoras principais por gravidade, 222 km de rede viária, 120 km de dreno, 02 estações de bombeamento principal e 29 estações de bombeamento secundárias (CODEVASF, 2000).

Segundo Codevasf (2020), a capacidade de captação do Projeto é de 14,27 m³/s. Já as vazões outorgadas por meio das Portarias nº 9.650/2015 e 9.651/2015 do Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (Inema), considerando 20 horas de bombeamento, correspondem a 688.320 m³/dia e 439.920 m³/dia, etapas A e H, respectivamente, totalizando 1.128.240 m³/dia (INEMA, 2015a; INEMA, 2015b).

A vazão com 90% de permanência no tempo, Q₉₀, que foi calculada para fins de estudo visando à elaboração do Plano de Recursos Hídricos da Bacia do rio Corrente, em andamento, corresponde a 11.944,80 x 10³ m³/dia (INEMA, 2020a). Verifica-se, portanto, que os valores outorgados ao Formoso A/H correspondem a menos de 10% da Q₉₀ do rio Corrente. Os volumes captados pelo Formoso A/H no ano de 2019 podem ser visualizados no gráfico da Figura 8, totalizados em 131.813,21 x 10³ m³.

Figura 8 – Volume captado no Formoso A/H em 2019



Fonte: DIF (2020)

Neste Projeto é praticada a fruticultura, sendo a de maior importância a da banana do tipo prata anã. A sua capacidade produtiva permitiu ao município de Bom Jesus da Lapa, no qual o Projeto está instalado, o título de maior produtor individual de banana no Brasil. O Formoso A/H também se constitui no maior produtor de banana entre os diversos projetos de irrigação implantados pela Codevasf (ROCHA, 2016).

O Formoso A/H emprega em torno de 20 mil pessoas, moradores das agrovilas 04 e 33 localizadas em seu interior, bem como do município de Serra do Ramalho (ROCHA, 2016).

No que se refere à produção, as ações são norteadas pelo Manual Técnico de Agricultura Irrigada, especialmente as do pequeno produtor (CODEVASF, 2009). Neste documento são apresentadas recomendações para preparo, plantio e fertilização do solo, irrigação das culturas, controle de plantas daninhas, pragas e doenças, dentre outras. Segundo os autores, o seu objetivo é subsidiar equipes de assistência técnica na execução dos serviços de orientação aos produtores, o que demonstra a importância desta equipe para efetividade das ações.

A este projeto tem sido atribuída por moradores da comunidade quilombola Lagoa das Piranhas, a responsabilidade pela degradação da qualidade da água da lagoa, inclusive com denúncias que foram noticiadas pela imprensa local (SANTANA, 2012).

Acerca de projetos públicos de irrigação, como o Formoso A/H, Oliveira *et al.* (2017) reconhecem a sua relevância, pois consideram que a irrigação é uma técnica fundamental para o desenvolvimento de regiões como o médio São Francisco, o que possibilita dentre outros benefícios o aumento da produtividade e a diversificação de culturas. Mas salientam a possibilidade desses empreendimentos provocarem impactos quali-quantitativos nos recursos hídricos e sugerem a realização de monitoramento a fim de garantir a sustentabilidade da atividade.

4.2 LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM

Os pontos de coleta de água selecionados no presente estudo estão localizados na região do médio rio São Francisco, no município de Bom Jesus da Lapa, a saber: rio Corrente, riacho das Cacimbas, rio São Francisco, dreno do Formoso A/H e Lagoa das Piranhas.

Cada ponto foi codificado de forma alfanumérica. A primeira letra representa o tipo de ambiente aquático, tendo sido utilizado R para rio e L para Lagoa. O dreno foi associado ao ambiente fluvial, haja vista que seu traçado, a partir de determinado ponto coincide com o riacho das Cacimbas e se comporta como um ambiente lótico. O segundo e terceiro caracteres referem-se ao nome do ambiente. O último caractere se refere a um número sendo 0 utilizado para ambientes não influenciados pelas águas do projeto de irrigação e os outros correspondem à sequência do fluxo.

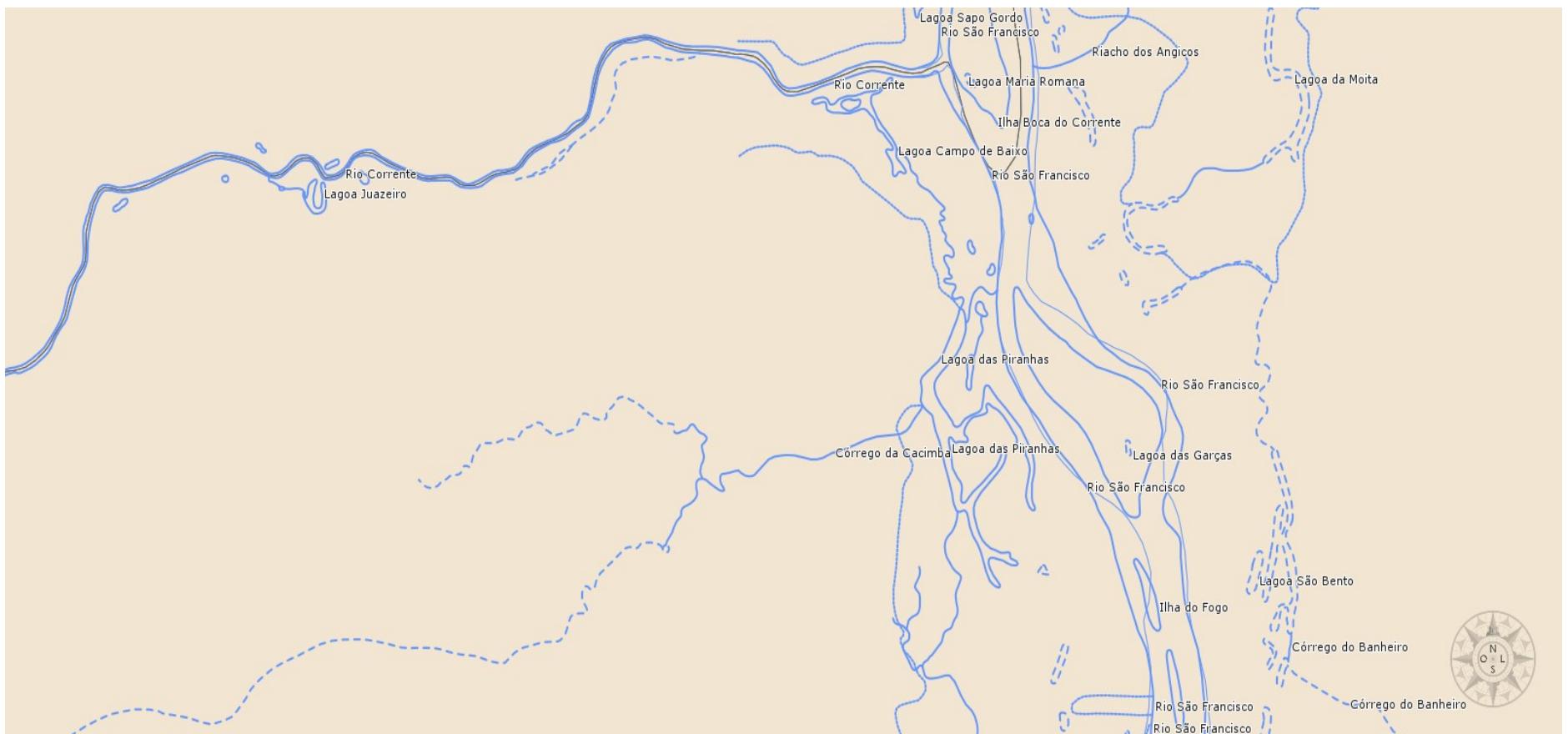
A Figura 9 apresenta a localização dos pontos, a Figura 10 a hidrografia da região de estudo e a Tabela 1 a localização dos pontos, com respectivas coordenadas geográficas.

Figura 9 – Localização dos pontos de monitoramento



Fonte: Google Earth (2021)

Figura 10 – Hidrografia da região de estudo



Fonte: Geobahia (2019).

Tabela 1 – Descrição dos pontos do monitoramento

Código do Ponto	Localização	Coordenadas
RCO0	Rio Corrente, que abastece o Formoso A/H	13°11'05.2"S 43°38'45.4"O
RCA0	Riacho das Cacimbas, à montante do Formoso A/H	13°16'31.0"S 43°39'22.1"O
RCA1	Dreno do Formoso A/H – Intermediário	13°12'45.1"S 43°31'28.2"O
RCA2	Riacho que aflui ao Cacimba	13°11'23.2"S 43°32'18.6"O
RCA3	Riacho das Cacimbas – Passagem Molhada	13°11'21.0"S 43°28'21.8"O
RCA4	Foz do riacho das Cacimbas	13°11'11.6"S 43°28'03.3"O
LPI1	Lagoa das Piranhas – próximo a foz do riacho das Cacimbas	13°11'08.8"S 43°27'57.1"O
LPI2	Lagoa das Piranhas – próximo a estação de tratamento de água	13°10'58.2"S 43°28'03.9"O
LPI3	Lagoa das Piranhas – próximo ao canal que liga ao rio São Francisco	13°10'28.6"S 43°27'44.3"O
LPI4	Lagoa das Piranhas (Braço das cajazeiras)	13°11'03.7"S 43°27'17.7"O
LPI5	Lagoa das Piranhas (Mandim)	13°12'14.5"S 43°27'32.8"O
RSF0	Rio São Francisco	13°10'57.6"S 43°27'04.9"O

4.3 AMOSTRAGEM

O monitoramento foi realizado por meio de três campanhas, sendo duas no período seco (maio e setembro/2019) e uma no período chuvoso (janeiro/2020). A previsão inicial era realizar quatro campanhas, mas a última não aconteceu devido à pandemia da COVID-19.

Embora o período chuvoso da região ocorra geralmente entre os meses de outubro e março, como referência para o presente trabalho, utilizou-se a Resolução nº 2081/2017 da Agência Nacional de Águas e Saneamento – ANA, que “Dispõe sobre as condições para a operação do Sistema Hídrico do Rio São Francisco”, a qual estabelece, em seu artigo 2º, o período úmido de dezembro a abril e o período seco de maio a novembro (ANA, 2017). Essa

normativa foi adotada, pois o volume do rio São Francisco e consequentemente da Lagoa das Piranhas são influenciados pela operação deste sistema hídrico.

Nas três campanhas realizadas, o ponto RCA0 e RCA2 estavam secos e, portanto, não foi possível realizar a coleta. A escolha desses pontos deve-se ao fato de que, considerando o mapa da hidrografia local (Figura 10), eles foram identificados como afluentes à Lagoa das Piranhas, no entanto o presente estudo demonstrou que se trata de corpos hídricos efêmeros, os quais possivelmente só tem vazão quando da ocorrência de chuvas mais intensas do que as observadas no período estudado.

4.4 COLETA E ARMAZENAMENTO

Foi feita coleta superficial da água (até a profundidade de 30 cm) pela própria discente. O armazenamento das amostras foi feito conforme consta na Tabela 2, considerando as recomendações estabelecidas no Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (CETESB: ANA, 2011). A amostragem em todos os pontos foi realizada em duplicata de campo, para fins de confirmação de dados, se necessário.

Tabela 2 – Coleta e Armazenamento

Ensaio	Recipiente	Quantidade de Amostra	Preservação	Armazenamento	Prazo de validade
Fósforo total	Frasco plástico (de polímero inerte), Frasco de vidro neutro	250 mL	H ₂ SO ₁	Refrigeração a 4°C±2°C	28 dias
Clorofila a (filtrada em laboratório)	Frasco de cor âmbar de boca larga	1 L (o frasco não foi totalmente preenchido)	Resfriamento em gelo e proteger da luz	Refrigeração entre 4°C e 10°C e manter ao abrigo da luz	48 h

Fonte: Adaptado de CETESB: ANA (2011)

As amostras sob refrigeração em caixas de isopor e/ou térmica (Figuras 11 e 12) foram enviadas, por meio de ônibus, do município de Bom Jesus da Lapa para Salvador. As análises foram realizadas em laboratórios da Universidade Federal da Bahia – UFBA por suas respectivas equipes técnicas.

Foi respeitado o prazo máximo de 24 horas entre a coleta e a recepção das amostras nos laboratórios.

Figura 11 – Armazenamento de amostras - Primeira campanha



Figura 12 – Armazenamento de amostras – Segunda campanha



Na terceira campanha, por se tratar de um período chuvoso, no qual a coleta das amostras foi mais demorada em relação as anteriores não foi possível fazer o registro do armazenamento das amostras devido ao horário de partida do ônibus que fazia o transporte destas para Salvador.

4.5 MÉTODOS ANALÍTICOS

O fósforo total foi analisado no Laboratório de Físico-Química – Labdea, do departamento de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica, já a análise de clorofila *a* foi realizada no Lepetro, Instituto de Geociências ambos da

UFBA, em conformidade com o que estabelece o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (SMEWW, 2012). Um resumo dos procedimentos de análise se apresenta na Tabela 3.

Tabela 3 – Parâmetros analisados

Parâmetro	Procedimento	Referência
Fósforo total	Determinação espectrofotométrica, por meio do Método do Ácido Ascórbico 4500 – P. Baseia-se na reação do molibdato de amônio em meio ácido com íons ortofosfato, formando o complexo fosfomolibdato, reduzido pelo ácido ascórbico e catalisado pelo tartarato duplo de antimônio de potássio. Determinou-se o fósforo por meio do comprimento de onda de 690 nm. Unidade utilizada: mg L^{-1} .	Método do Ácido Ascórbico 4500 – P. <i>Standard Methods for Examination of Water and Wastewater</i> .
Clorofila a	O método consiste inicialmente na filtração da amostra, a qual é levada para o congelador. A extração é feita por meio da adição solução de acetona 90% (v/v), seguida de refrigeração por um período entre 2 e 24h, centrifugação e análise da amostra contra um branco de solução de acetona 90% (medidas realizadas empregando espectrofotometria de absorção molecular em comprimento de onda de 664, 665, 647 e 750 nm). São feitos os cálculos para concentrações de clorofila a, b e c, determinando-se a clorofila a pelo método tricromático utilizando a equação de Jeffrey & Humphrey (1975) e em seguida determina-se a concentração dos pigmentos na amostra de água utilizando-se a equação: $\text{Clorofila a } (\mu\text{g L}^{-1}) = \frac{\text{Cl a} * \text{volume da acetona (mL)}}{\text{Volume filtrado (L)} * \text{caminho ótico (cm)}}$ Unidade utilizada: $\mu\text{g L}^{-1}$.	Método Tricromático (clorofila a, b e c) SM 10200 – H. <i>Standard Methods for Examination of Water and Wastewater</i> .

Fonte: Adaptado de SMEWW (2012)

4.6 CÁLCULO DO ÍNDICE DO ESTADO TRÓFICO

A metodologia utilizada para o cálculo do Índice do Estado Trófico consiste em um aprimoramento feito por Lamparelli (2004) ao método desenvolvido por Carlson (1974). Este método mede o potencial de eutrofização do ambiente aquático, avaliando a atuação do nutriente (fósforo total) como causador do processo e medindo a resposta do corpo hídrico a este agente devido ao crescimento do fitoplâncton (clorofila a).

Conforme já citado na seção 3.3, o IET é o resultado da média entre os índices calculados para o fósforo total e para a clorofila a, tendo sido apresentadas equações específicas para ambientes lóticos e lênticos. Na

mencionada seção também se apresentou o Quadro 4 contendo as classes do estado trófico.

Os ambientes lóticos considerados no presente estudo foram: rio Corrente (RCO0), dreno do Formoso A/H (RCA1), riacho das Cacimbas (RCA 3 e RCA4) e rio São Francisco (RSF0). O ambiente lêntico estudado foi a Lagoa das Piranhas, por meio de cinco pontos de monitoramento (LPI1, LPI2, LPI3, LPI4 e LPI5).

4.7 PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA

Wiegand *et al.* (2021) perceberam forte correlação entre a hidrologia da região nordeste brasileira, influenciada por longos períodos de estiagem, e os processos de eutrofização, por isso no presente estudo foi realizado o levantamento de dados pluviométricos no período das campanhas.

Os dados foram obtidos da estação meteorológica de superfície automática de Bom Jesus da Lapa, código A418, do Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet), que fica localizada nas coordenadas latitude e longitude: -13.25109 e -43.40537, respectivamente.

Esse tipo de estação possui uma unidade de memória central (“*data logger*”), conectada aos sensores dos parâmetros meteorológicos, integrando os valores observados minuto a minuto e disponibilizando-os automaticamente a cada hora (INMET, 2019).

Embora todos os dados utilizados nas campanhas amostrais sejam oriundos da referida estação, quando da avaliação dos dados históricos (seção 5.1.1), foram utilizados pela discente alguns dados da estação do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), código nº 01343019, localizada no município de Serra do Ramalho, nas coordenadas lat/long: -13,2600 e -43,44000 (ANA, 2020).

4.8 MEDIÇÃO DA VAZÃO DO DRENO E DETERMINAÇÃO DA CARGA DE FÓSFORO TOTAL

Tendo em vista que a vazão superficial afluente à lagoa de forma mais constante é oriunda do dreno do Formoso A/H foi realizada a sua medição, quando possível, com auxílio de medidor hidromecânico – molinete modelo FP111 da Global Water, cujas especificações se encontram na Tabela 4. A discente apoiou na realização desta medição.

Tabela 4 – Especificações do molinete

Faixa de velocidade	0,1 a 6,1 m/s
Média	média do fluxo digital verdadeira
Display	LCD
Tipo de sensor	hélice sonda turbo protegida com corrente eletromagnética
Peso	até 1,0 kg
Temperatura de operação	-20° a 70° C
Alimentação	bateria interna de lítio
Materiais	PVC, alumínio anodizado, engrenagens de aço inoxidável.

Inicialmente, com auxílio de uma trena foi medida a profundidade do dreno e a sua largura para cálculo da área molhada aproximada no ponto onde se realizou a medição da vazão. Posteriormente a base do micromolinete foi posicionada em diferentes alturas da lâmina d'água, a fim de verificar a velocidade média do fluxo da água (Figura 13). Considerando a área e a velocidade obtidas, calculou-se a vazão conforme Equação 6.

Figura 13 – Medição de vazão com molinete



$$Q(m^3/s) = v \cdot A \quad (6)$$

Onde:

v = velocidade em m/s;

A = área em m^2 .

A determinação da vazão do dreno, juntamente com a informação relativa a concentração de fósforo total neste ambiente, permitiram à discente determinar, conforme Equação 7, a carga relativa a este nutriente que pode estar saindo do Projeto Público de Irrigação.

$$Carga (kgPt/dia) = C(Pt) \cdot Q / 1000 \quad (7)$$

Onde:

C = concentração de fósforo total em g/m^3 ;

Q = vazão em m^3/dia .

4.9 NÍVEL DA LAGOA

O propósito inicial era acompanhar a variação do nível de água da lagoa das Piranhas utilizando uma régua limnétrica de alumínio. Foi feita a solicitação do referido instrumento à ANA e, apesar do setor responsável informar que o enviaria, isso não ocorreu.

Tendo em vista a necessidade de realizar o trabalho no cronograma estabelecido, optou-se por fazer esta avaliação de maneira indireta, a partir de medições topográficas do ponto no solo onde a água da lagoa chega (Figuras 14 e 15).

No dia da primeira campanha, foi realizado rastreio com GPS Geodésico pela equipe de topografia da Codevasf, seguido de correção e lançamento de marco. Por meio deste procedimento buscou-se que as cotas identificadas nas medições seguintes tivessem a mesma referência.

Embora a medição da cota tenha sido feita de forma indireta, demonstrou-se suficiente para fins de comparação do volume da lagoa entre as campanhas.

Figura 14 – Medição da cota da margem



Figura 15 – Topógrafo da Codevasf



4.10 TRATAMENTO DOS DADOS

As informações foram organizadas pela discente em um banco de dados em planilha *Excel*. Algumas análises de clorofila *a* e de fósforo total resultaram em valores inferiores ao limite de detecção (LD) e de quantificação do método (LQ), nestes casos utilizou-se o próprio LQ, sendo $2,0 \mu\text{g.L}^{-1}$ para clorofila *a* e $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ para fósforo total. O IET foi calculado conforme equações apresentadas na seção 3.3.

A distribuição das variáveis deve ser prioritária e cuidadosamente analisada (SABINO, LAGE e ALMEIDA, 2014), por isso os dados levantados foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro Wilk, recomendado para pequenas amostras.

A partir dos resultados desta avaliação, os dados do IET foram submetidos ao teste de Wilcoxon, que contempla a avaliação de dados que não possuem distribuição normal, a fim de verificar a similaridade do estado trófico nos ambientes ao longo das três campanhas realizadas.

Especificamente para verificação de correlação entre a vazão do dreno do Projeto Público de Irrigação Formoso A/H e a chuva, conforme será relatado na seção 5.1.3 foi utilizado o coeficiente de correlação de Kendall.

Os testes estatísticos foram realizados por meio do *Software SPSS Statistics*, versão 27.0 (IBM, 2019), o qual é utilizado em estudos de diversas áreas, inclusive meio ambiente e recursos hídricos.

Whang, Liu e Zhao (2021), por exemplo, avaliaram a correlação entre fatores ambientais e indicadores da qualidade de solo no Delta do rio Amarelo, China, por meio deste *software*. Já Azad *et al.* (2019), utilizaram a análise de correlação do *SPSS Statistics* para subsidiar modelagem em qualidade da água.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 AVALIAÇÃO DE FATORES QUE PODEM INFLUENCIAR O ÍNDICE DO ESTADO TRÓFICO DA LAGOA DAS PIRANHAS

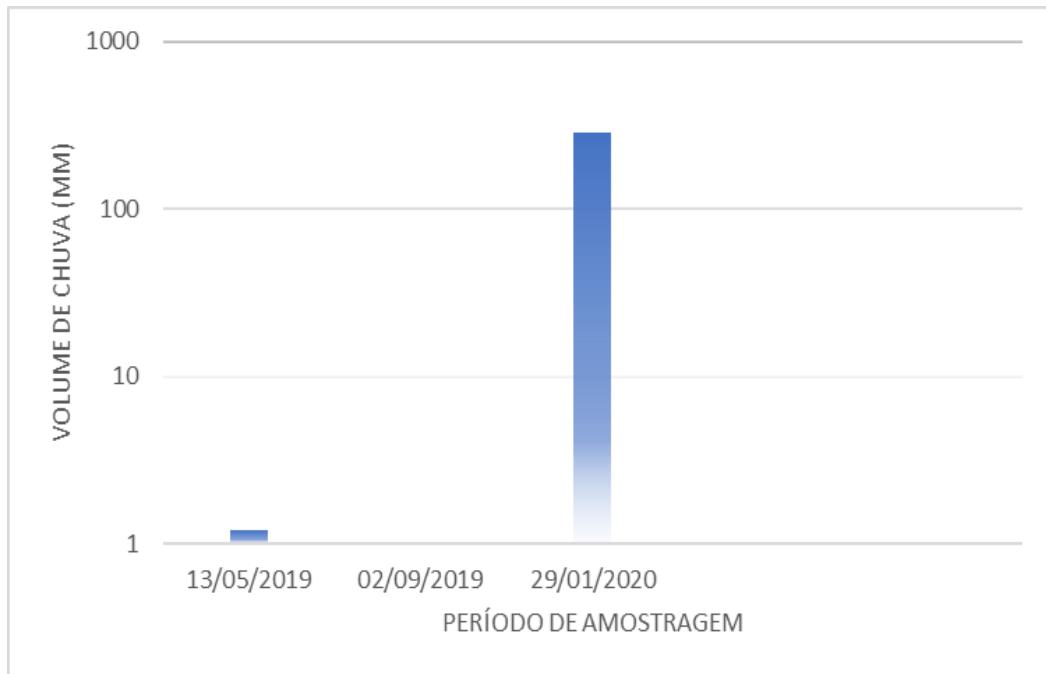
A eutrofização é induzida pelo maior aporte de fósforo ao corpo hídrico, podendo ser influenciada, dentre outros, por fatores climáticos como chuva, profundidade do corpo hídrico, além da concentração de fósforo dos rios afluentes (ESTEVES, 2011; GUNKEL *et al.*, 2018; LIN *et al.*, 2020; SPERLING apud SPERLING, 2005; WIEGAND *et al.*, 2021).

Portanto entre os subitens 5.1.1 e 5.1.3 serão apresentados os resultados e discussões relativos ao volume de chuva no município de Bom Jesus da Lapa, cota da Lagoa das Piranhas e carga de fósforo total do dreno do Formoso A/H ao qual a população local atribui a responsabilidade pela degradação da qualidade da água da lagoa.

5.1.1 Volume de chuva

O gráfico da Figura 16 demonstra o volume de chuva acumulado no período de 30 dias antes de cada uma das três amostragens, considerando os dados oriundos da estação meteorológica de superfície automática de Bom Jesus da Lapa do Inmet, código A418.

Figura 16 – Precipitação no período de estudo



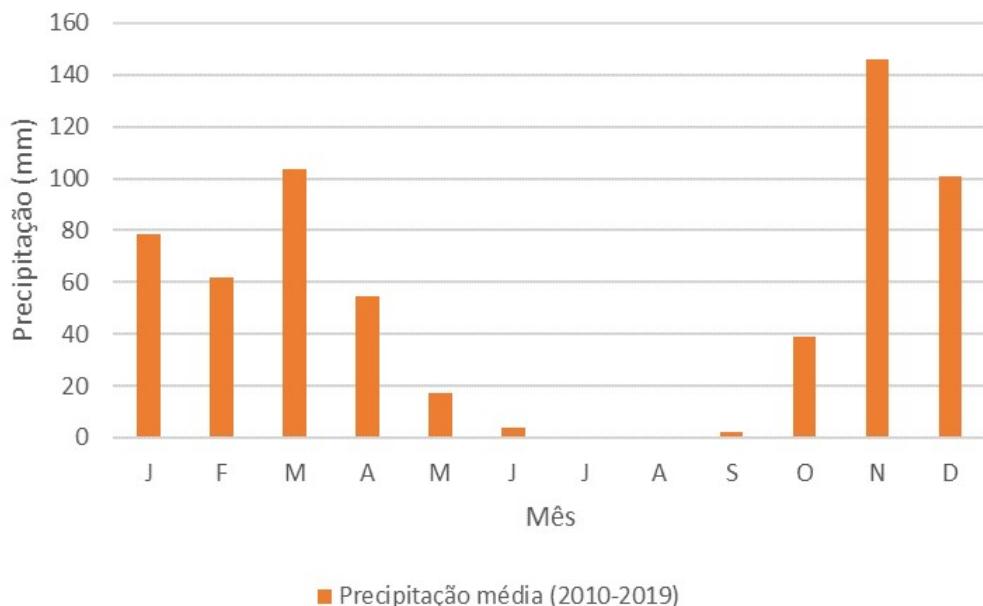
Fonte: Adaptado de Inmet (2019)

Em relação às datas de realização de amostragens do presente estudo, verificou-se que a precipitação acumulada nos 30 dias que antecederam a primeira campanha (período de 13/04/2019 a 13/05/2019) foi da ordem de 1,2 mm. Observa-se que nos 30 dias que antecederam a segunda campanha (04/08/2019 a 03/09/2019) a precipitação foi nula. Já nos 30 dias antes da terceira campanha (30/12/2019 a 29/01/2020), o volume acumulado de chuvas foi de 283,8 mm.

Pode-se afirmar que as duas primeiras amostragens foram realizadas em períodos que são considerados mais secos na região de estudo, corroborando com a constatação de Teixeira *et al.* (2020) acerca da concentração de chuvas no início e no final do ano nas regiões do alto, médio e submédio rio São Francisco.

A terceira amostragem ocorreu em um período chuvoso, conforme se verifica no gráfico da Figura 17 que apresenta a precipitação média mensal entre os anos de 2010 e 2019 no município de Bom Jesus da Lapa, considerando os dados obtidos na estação convencional do Inmet nº 83288.

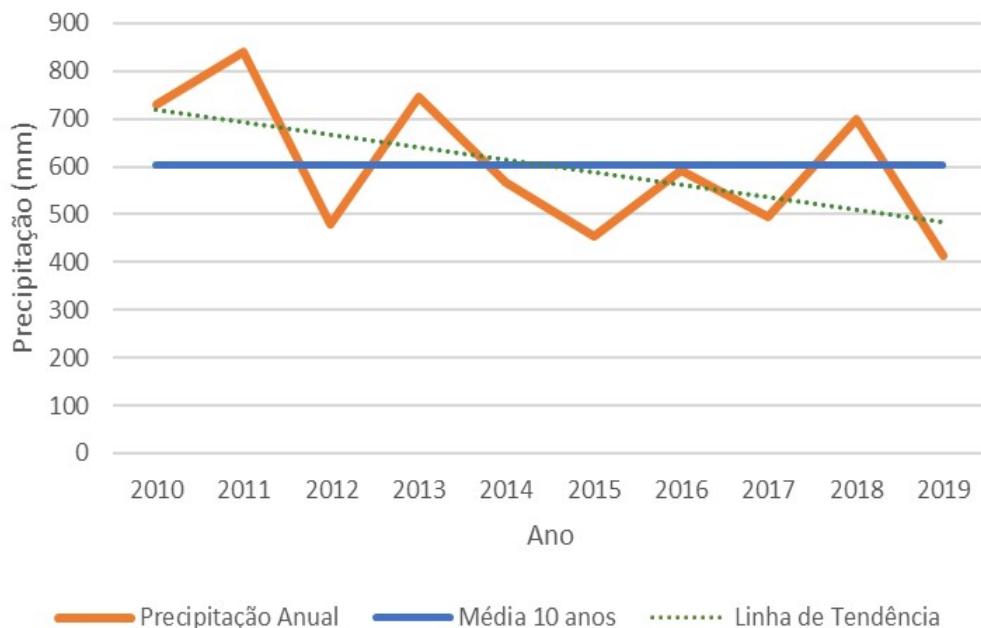
Figura 17 – Precipitação média mensal em Bom Jesus da Lapa



Fonte: Adaptado de Inmet (2020)

Já o gráfico da Figura 18 apresenta a pluviosidade anual neste mesmo período no município de Bom Jesus da Lapa, demonstrando uma tendência de redução ao longo dessa década. Observa-se que o ano com maior volume de chuvas foi 2011, com 841,4 mm, já o menor volume aconteceu em 2019, quando se iniciou esta pesquisa, por meio da realização das duas primeiras campanhas. Neste ano, o volume acumulado anual foi de 414,8 mm, aproximadamente metade do volume do ano mais chuvoso.

Figura 18 – Precipitação anual em Bom Jesus da Lapa (2010-2019)



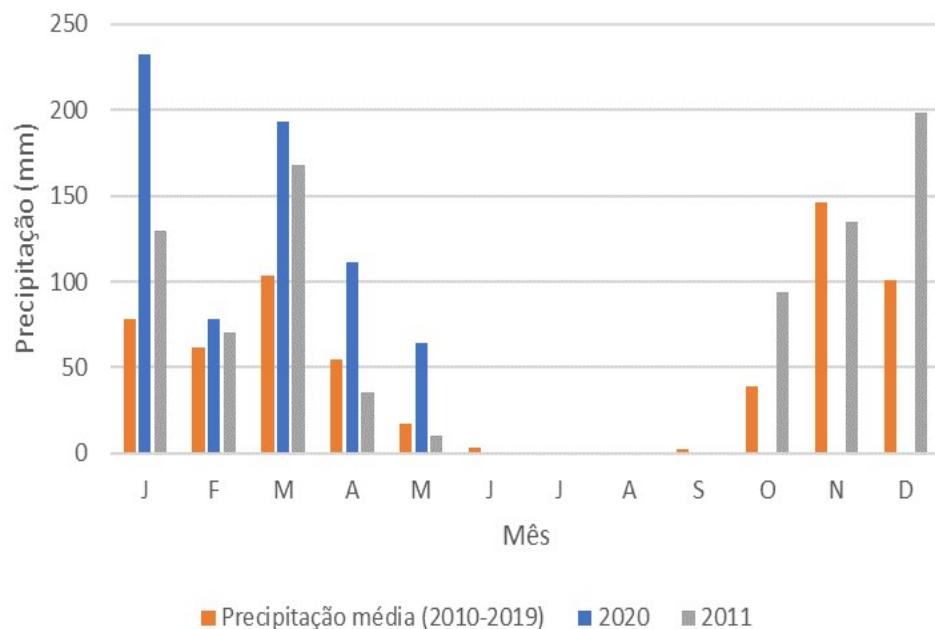
Fonte: Adaptado de Inmet (2020)

A média anual ao longo desse decênio foi de 601,9 mm, compatível com o volume característico da região semiárida brasileira de até 800 mm anuais (BRASIL, 2005).

Se por um lado o ano de 2019 foi o mais seco do decênio, o ano seguinte, 2020, quando foi realizada a terceira campanha, demonstrou comportamento totalmente distinto no que se refere a pluviosidade no município de Bom Jesus da Lapa.

Entre os meses de janeiro e maio do ano de 2020, quando foi realizada a terceira campanha, os volumes de chuvas mensais foram acima da média, conforme se observa no gráfico da Figura 19. O total acumulado nos cinco primeiros meses foi de 679,8 mm. Este valor corresponde a 265,9 mm acima do volume que choveu no mesmo período em 2011, ano mais chuvoso do decênio e. Está 364,0 mm acima da média dos cinco primeiros meses entre os anos de 2010 e 2019.

Figura 19 – Precipitação mensal em Bom Jesus da Lapa (média 2010-2019; 2011; 2020)



Fonte: Adaptado ANA (2020), Inmet (2020)

As campanhas que subsidiaram a presente pesquisa foram realizadas nos anos considerados mais seco (2019) e chuvoso (2020) do período compreendido entre 2010 e 2020. Trata-se, portanto, de momentos extremos no que se refere a pluviosidade deste intervalo de pouco mais de uma década.

É importante salientar a relação existente entre precipitação e vazão na bacia do rio São Francisco. Conforme constatado por Medeiros *et al.* (2016), as variações nas precipitações ocorridas na região do baixo São Francisco, influenciaram diretamente a vazão deste corpo hídrico, considerando os anos de 2001, 2004 e 2007. No primeiro ano os dados estiveram abaixo da média, o que impactou de forma significativa os volumes armazenados nos reservatórios das hidrelétricas, enquanto nos primeiros meses dos dois últimos anos tanto a chuva quanto a vazão estiveram acima da média histórica.

A alteração no armazenamento do sistema hídrico do rio São Francisco traz consequências para os ecossistemas a ele associados, o que inclui as lagoas marginais cujos volumes também podem variar em função da operação deste sistema.

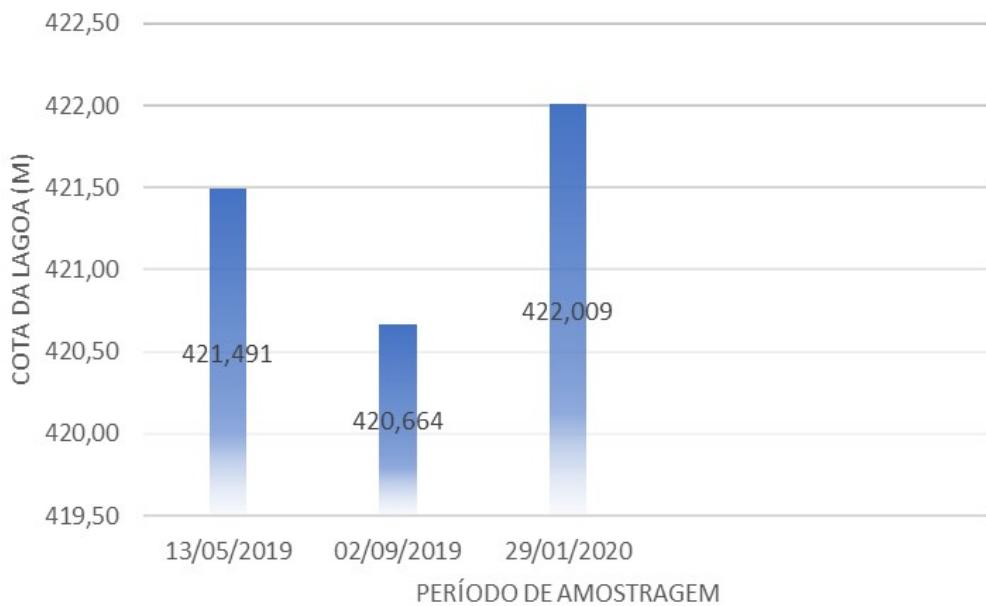
Demonstra-se assim a importância do estudo dos elementos climáticos na avaliação da qualidade de corpos hídricos, especialmente na região Nordeste do Brasil. Nos reservatórios e demais ambientes lênticos localizados na região semiárida há maior retenção de nutrientes e consequentemente maior suscetibilidade à eutrofização em função da redução do seu volume devido à baixa precipitação e alta evaporação com consequentemente aumento no tempo de detenção das águas em seu interior (AMORIM *et al.*, 2017; ANA, 2012a; WIEGAND, PIEDRA e ARAÚJO, 2016).

5.1.2 Cota da Lagoa das Piranhas

No período seco a comporta localizada na ligação com o rio São Francisco permanece fechada, devido a cota do fundo da Lagoa das Piranhas ser superior à do rio, o que implicaria em seu esvaziamento caso este dispositivo não tivesse sido instalado, segundo informações dos moradores do seu entorno. Neste período a manutenção de seu volume é garantida principalmente pelas águas do sistema de drenagem do Formoso A/H. Nas campanhas realizadas neste período, foram obtidas as cotas de 421,5 m e 420,7 m, primeira e segunda campanha respectivamente, relativas aos pontos do solo até onde a água da lagoa chegou.

No caso da terceira campanha, a comporta estava aberta, condição na qual ela permanece durante todo o período chuvoso para permitir a renovação das águas da lagoa em virtude da cheia do rio. A medição do ponto do solo onde a água chegou foi de 422,0 m. O gráfico da Figura 20 apresenta as medições realizadas nas três campanhas.

Figura 20 – Variação da cota da margem da Lagoa das Piranhas



A variação da cota acompanhou à da precipitação ocorrida no período de estudo, conforme apresentado no item 5.1.1. Não se nota uma amplitude significativa na cota da terceira campanha, assim como foi possível perceber no volume precipitado no período, devido ao fato de que neste momento a comporta que está no canal que interliga ao rio São Francisco estava aberta, pois caso contrário, poderia inundar a comunidade.

Considerando que a medição da cota foi uma forma indireta de avaliar a redução ou aumento do volume da lagoa, o qual varia em função da altura da lâmina d'água, é possível concluir que o maior volume ocorreu em janeiro de 2020 (terceira campanha), quando também havia possibilidade de troca entre as águas armazenadas em seu interior e as oriundas do rio São Francisco, que influencia dentre outros no tempo de detenção e na capacidade de diluição deste corpo hídrico.

O volume armazenado em determinado corpo hídrico pode influenciar no seu nível trófico. Acerca disso Sperling *apud* Sperling (2005) em estudo realizado considerando 269 corpos d'água distribuídos em todo o mundo, perceberam que:

A partir da análise estatística, tornou-se claro que a profundidade (profundidade média, profundidade máxima e profundidade relativa) é a variável morfométrica mais proximamente associada ao nível trófico: quanto mais raso o corpo d'água, tanto maior a tendência de se ter um nível trófico mais elevado, devido principalmente à maior penetração da energia luminosa ao longo de toda a coluna d'água. (SPERLING, 2005, p. 222).

Para Costa, Attayde e Becker (2016), essa mudança no nível trófico é função da alteração no nível da água que influencia na disponibilidade de luz e nutrientes para o fitoplâncton.

Nesse sentido Wiegand *et al.* (2021), perceberam que durante o período seco, no qual o volume de reservatórios em oito bacias hidrográficas localizadas no estado Ceará se encontra reduzido, houve um aumento no IET de 91% dos 65 reservatórios estudados. Para eles, a redução do volume favorece um aumento na concentração de nutrientes e clorofila a.

Vale salientar que a profundidade de um lago, especialmente aqueles localizados no semiárido, influencia não somente o seu nível trófico, mas é uma variável que se relaciona com a própria sobrevivência deste corpo hídrico. Quanto maior a sua profundidade, mais chances tem de perenidade ante as estiagens prolongadas (GODINHO e GODINHO, 2003). No caso específico da Lagoa das Piranhas, segundo informações dos moradores, a sua perenidade vem sendo garantida pela operação da comporta, além das águas do dreno do Formoso A/H.

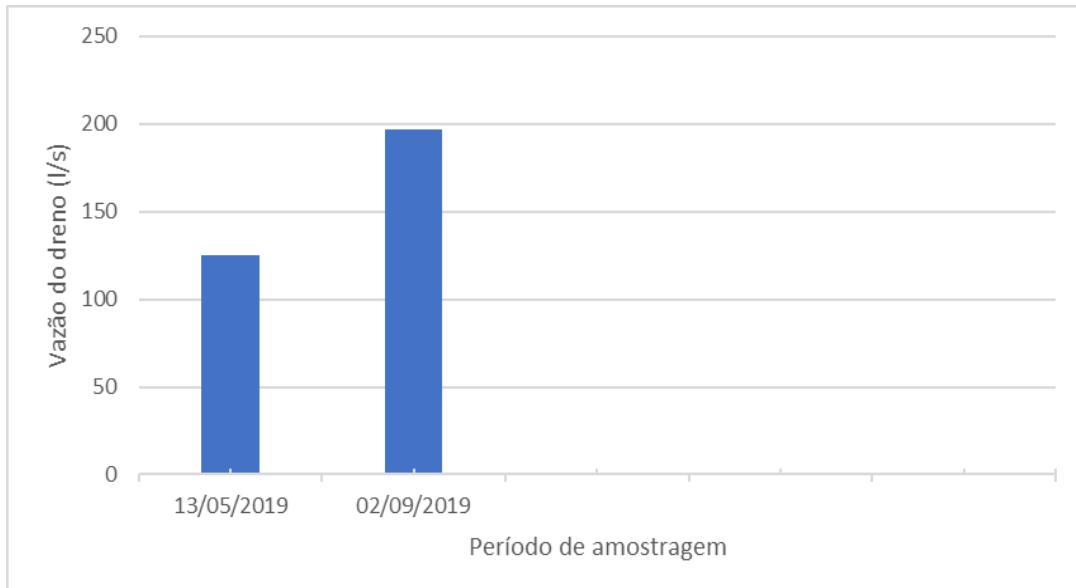
5.1.3 Carga de fósforo total do dreno do Formoso A/H

Na primeira campanha a vazão no dreno do Formoso A/H, obtida a partir dos dados da área da seção do dreno, medido com trena e de velocidade medido a partir do micromolinete, cujas especificações foram apresentadas na seção 4.8, foi de 124,8 L/s. Este valor foi inferior ao medida na segunda campanha igual a 196,8 L/s. O gráfico da Figura 21 demonstra a variação da vazão nestas duas campanhas.

Considerando-se os dados de vazão e de concentração de fósforo total neste ponto igual a $0,10 \text{ mg.L}^{-1}$ nas duas primeiras campanhas, foram obtidas

as cargas relativas a este nutriente na primeira e segunda campanhas: 1,1 kg P_{total}/dia e 1,7 kg P_{total}/dia, respectivamente.

Figura 21 – Vazão do dreno do Formoso A/H nas duas primeiras campanhas



Na terceira campanha não foi possível medir a vazão do dreno, pois a seção do canal foi desconfigurada (Figura 22) devido ao alto volume de chuvas, impossibilitando o uso do equipamento.

Figura 22 – Alteração da seção do canal do dreno do Formoso A/H



Considerando se tratar de uma situação atípica e que a discente tem pouca experiência no que se refere a medição de vazão, foi solicitado o apoio de um hidrólogo da Codevasf (Figura 23), o qual em visita ao local atestou a impossibilidade de realizar a medição da vazão do dreno nas condições existentes e com os equipamentos disponíveis.

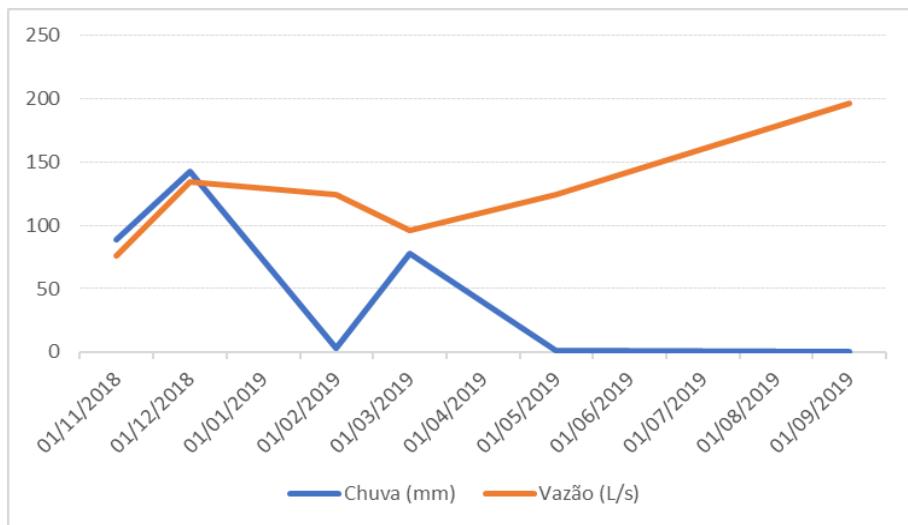
Figura 23 – Visita do hidrólogo ao dreno do Formoso A/H



O sistema de drenagem de um projeto de irrigação, como o Formoso A/H tem a função de remover o excesso de água tanto da superfície como do perfil do solo, evitando inundação, encharcamento e salinização, contribuindo assim para o aumento da produtividade. Entende-se, portanto, que o transporte do excesso da chuva se constitui, também, em objetivo do dreno.

Diante desse fato e considerando a ausência da informação relativa à vazão do dreno na terceira campanha realizada, buscou-se verificar a existência de correlação entre esta vazão e a chuva do período, a partir de medições anteriores realizadas tanto pelo hidrólogo da Codevasf visando atender outras demandas da empresa, como as realizadas na primeira e segunda campanhas do presente estudo. Os dados obtidos nestas medições foram plotados no gráfico da Figura 24.

Figura 24 – Distribuição da chuva e vazão no dreno



A partir do gráfico da Figura 24 é possível verificar comportamento distinto das variáveis. Acredita-se, portanto, que apesar de drenar água de chuva, durante as medições realizadas, o dreno poderia estar sendo alimentado pela água armazenada no solo, por isso a vazão do dreno não apresenta variação similar a da chuva.

A correlação entre os dados também foi avaliada, por meio do coeficiente de correlação de Kendall, indicado para dados não paramétricos e amostras pequenas, por meio do *Software SPSS Statistics*. Os resultados demonstraram uma correlação moderada negativa entre a precipitação no período e a vazão do dreno igual a 0,467, sendo o $\tau=0,188>0,05$.

Considerando este resultado entendeu-se que não seria apropriado determinar a vazão do dreno na terceira campanha a partir dos dados de pluviometria disponíveis para o período. Por isto não foi possível utilizar este dado para comparar com outros da presente pesquisa.

Embora o Formoso A/H não constitua a área total da microbacia do riacho das Cacimbas onde se pratica a agricultura, havendo outros empreendimentos que exercem a mesma atividade e cuja drenagem tem como exultório a Lagoa das Piranhas, objetivava-se avaliar uma possível relação entre a concentração do fósforo neste corpo hídrico e a operação do projeto. Estudos como o realizado por Rauen *et al.* (2018) observaram relação entre o desenvolvimento da agricultura e a concentração de fósforo nas águas à jusante da atividade.

Os dados obtidos só permitem comparar as duas campanhas do período seco. Ressalta-se, contudo, que na segunda campanha parte da água do dreno (riacho das Cacimbas) ficou retida em uma passagem molhada (Figura 25), localizada no curso do riacho da Cacimba, entre o Formoso A/H e a Lagoa das Piranhas, a qual tem funcionado como um barramento. Assim conclui-se que a carga de fósforo oriunda do Projeto, medida no dreno (Figura 26) não estava chegando com a mesma intensidade na foz do riacho (Figura 27).

Figura 25 – Passagem Molhada



Figura 26 – Volume de água no dreno do Projeto Formoso



Figura 27 – Volume de água no riacho da Cacimba próximo a foz observado em campanha do período seco



Na terceira campanha, apesar da impossibilidade em se medir a vazão do dreno foi verificado um grande volume de água na foz do riacho da Cacimba, o que é comum no período chuvoso (Figura 28). Entretanto, como já relatado não foi possível medir a carga de fósforo do dreno neste dia.

Figura 28 – Volume de água no riacho da Cacimba próximo a foz observado na terceira campanha.



5.2 VARIAÇÃO TEMPORAL E ESPACIAL DO ÍNDICE DO ESTADO TRÓFICO

5.2.1 Primeira Campanha

A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos na primeira campanha, realizada em período seco, para os parâmetros fósforo total e clorofila *a*, bem como para o Índice do Estado Trófico considerando a metodologia proposta por Lamparelli (2004). Do ponto de vista estatístico apenas o IET apresentou uma distribuição normal, com *p*-valor obtido a partir do teste de Shapiro Wilk maior do que 0,05, (nível de significância de 5%). Segundo Sabino, Lage e Almeida (2014), a não normalidade dos dados é considerada frequente em estudos ambientais.

Considerando a Tabela 5, é possível observar que os ambientes foram classificados entre mesotrófico e eutrófico, indicando intermediária e alta produtividade primária, respectivamente.

Tabela 5 – IETs obtidos na primeira campanha nos diversos ambientes analisados

	Nome do Ponto	Código	P_{total} (mg.L ⁻¹)	IET (P_{total})	Cl a ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	IET (Cl a)	IET	Legenda
Lóticos	Rio Corrente	RCO0	0,10	58	3,89	62	60	Oligotrófico
	Dreno do Formoso	RCA1	0,10	58	2,00	56	57	Mesotrófico
	Passagem Molhada	RCA3	0,13	59	6,29	66	63	Eutrófico
	Riacho da Cacimba	RCA4	0,11	58	2,74	59	59	Supereutrófico
	Rio São Francisco	RSF0	0,11	58	6,36	66	62	
Lagoa	Lagoa pós Cacimba	LPI1	0,10	62	3,24	52	57	
	ETA	LPI2	0,10	62	2,88	52	57	
	Saída para o rio	LPI3	0,10	62	2,63	51	57	
	Cajazeiras	LPI4	0,10	62	11,24	59	61	
	Mandim	LPI5	0,10	62	2,00	50	56	

Dos ambientes lóticos (Figuras 29 e 30), o Dreno do Formoso A/H (RCA1) e a foz do riacho das Cacimbas (RCA4) foram classificados como mesotróficos, enquanto o rio Corrente (RCO0), o riacho das Cacimbas, no trecho da passagem molhada (RCA3) e o rio São Francisco (RSF0) foram considerados ambientes eutróficos, os quais podem apresentar águas com qualidade alterada em função do processo de eutrofização (ARAÚJO, MENDONÇA e REIS, 2018).

Tendo em vista que o IET do corpo hídrico é o resultado da média entre os índices calculados para a clorofila *a* e para fósforo total, foi possível constatar que nas águas dos ambientes lóticos classificados como eutróficos, a limitação à produtividade primária é baixa, pois o valor do IET (Cl *a*) é superior ao IET (P_{total}).

A Lagoa das Piranhas, representada pelos pontos LPI1 a LPI5 (Figura 31) foi classificada em 4 dos 5 pontos como mesotrófica e a limitação a produtividade primária considerada alta, pois o valor do IET (P_{total}) foi superior ao do IET (Cl *a*). Essa limitação geralmente é atribuída a algum fator ambiental, como temperatura da água ou transparência (LAMPARELLI, 2004; BEM, BRAGA e AZEVEDO, 2013).

Em outros estudos, como o realizado por Lopes *et al.* (2019) em 3 bacias pertencentes a Região de Planejamento das Águas (RPGA) Leste, na Bahia, também foram observadas diferenças na classificação dos IETs considerando cada um dos parâmetros que o compõem. Os ambientes foram classificados entre mesotrófico e hipereutrófico considerando o IET (P_{total}), enquanto a classificação a partir do IET (Cl a) variou entre oligotrófica e hipereutrófica.

Figura 29 – Localização dos pontos RCO, RCA0, RCA1 e RCA2

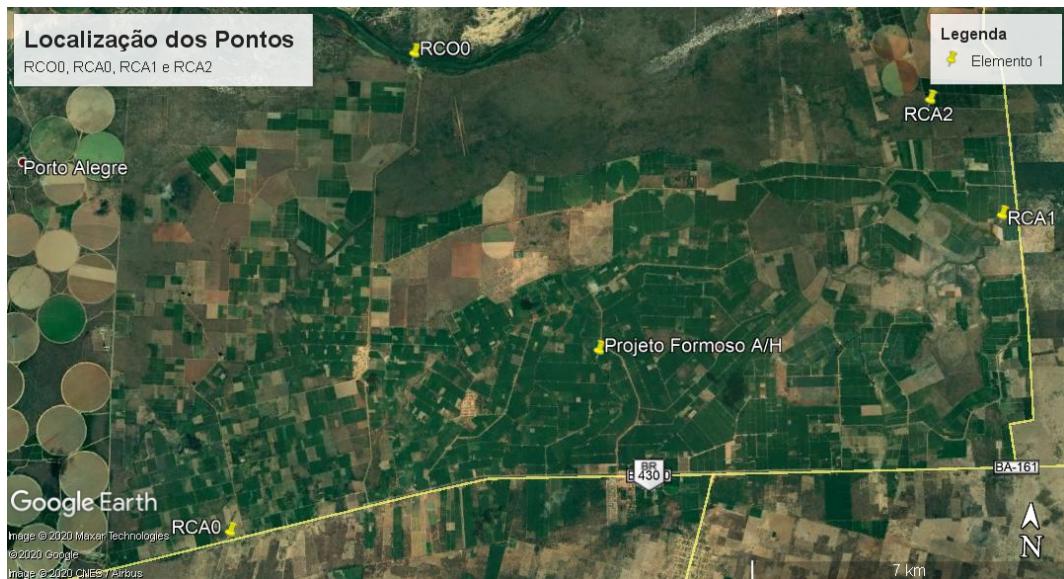
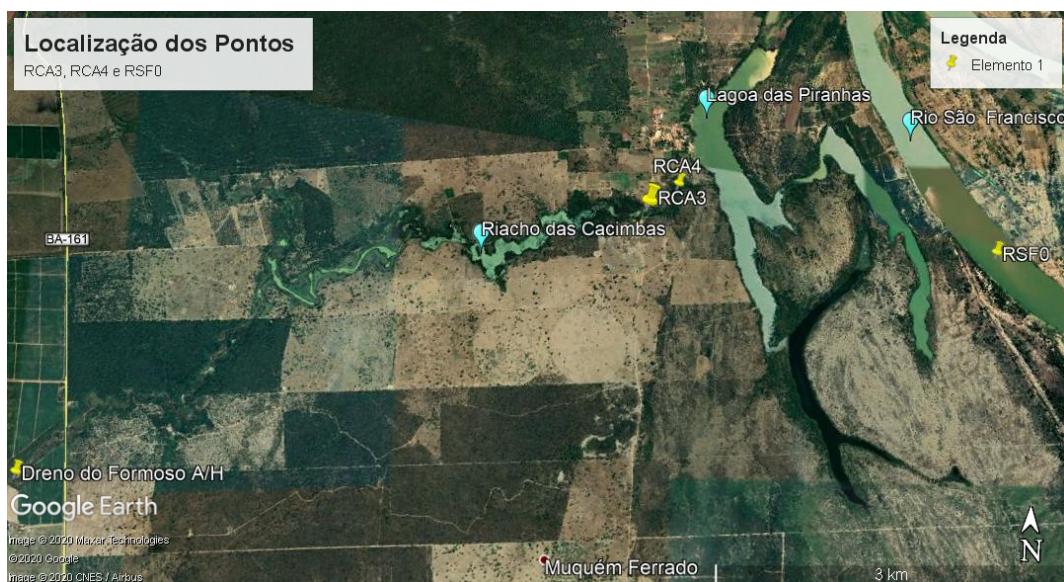
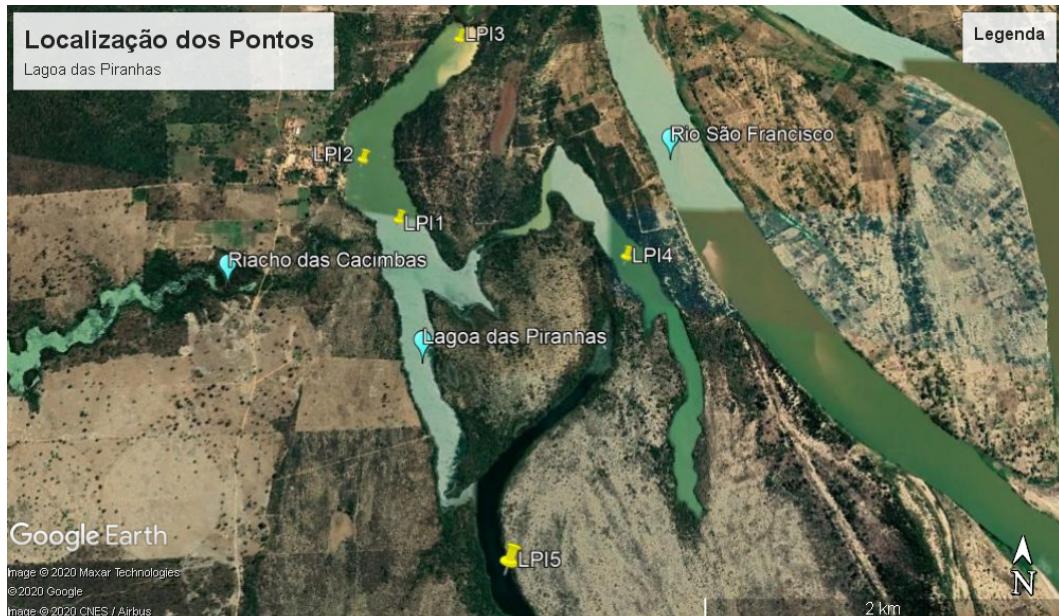


Figura 30 – Localização dos pontos RCA3, RCA4 e RSF0



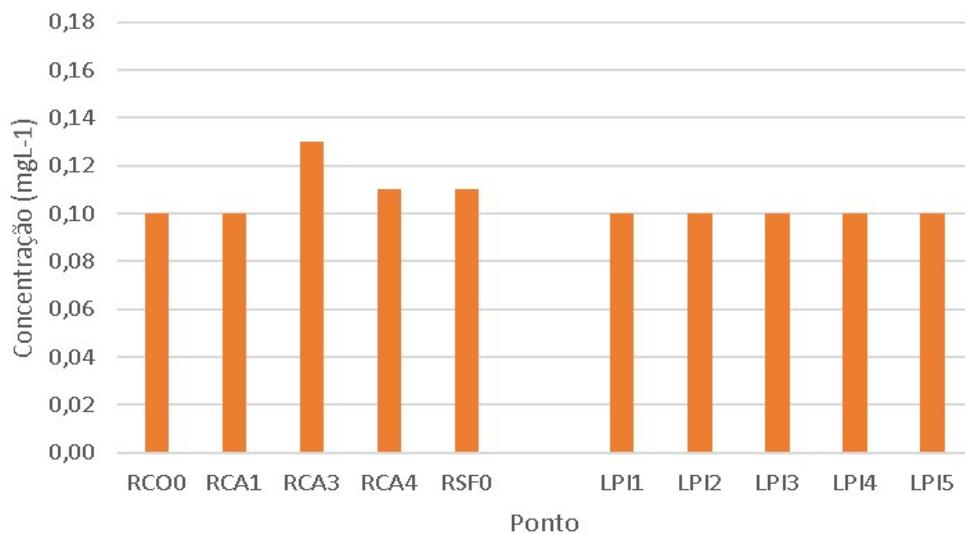
Apenas um ponto na Lagoa das Piranhas foi classificado como eutrófico; o braço das Cajazeiras (LPI4), no qual também se constatou uma alta limitação à produtividade primária. O IET (Cl a) o classificou como mesotrófico, enquanto o IET (P_{total}) classificou como eutrófico.

Figura 31 – Localização dos pontos amostrais na Lagoa das Piranhas



Por meio do gráfico da Figura 32 é possível observar que a maior concentração de fósforo total foi detectada no ponto RCA3, igual a $0,13 \text{ mgL}^{-1}$, seguida dos pontos RCA4 e RSF0, iguais a $0,11 \text{ mgL}^{-1}$.

Figura 32 – Concentração de fósforo total na primeira campanha

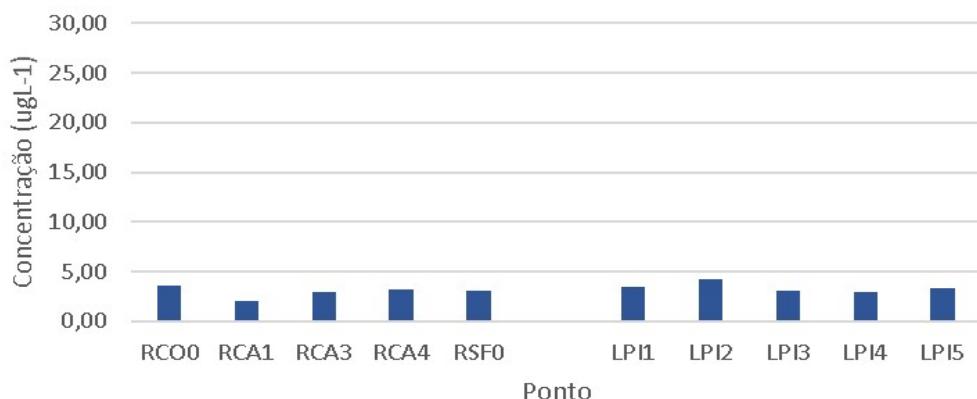


Entretanto não foi possível perceber uma variação significativa na concentração deste parâmetro entre os 10 pontos analisados, pois a maioria foi considerada igual a $0,10 \text{ mgL}^{-1}$, que corresponde ao LQ do método utilizado no laboratório.

A baixa concentração de fósforo total nos ambientes estudados diante do LQ adotado pode ter interferido na avaliação da variação deste parâmetro e consequentemente no IET dos ambientes estudados.

Quanto a clorofila a, observou-se que o LPI4 apresentou o maior valor deste parâmetro dentre os pontos analisados (Figura 33), o que pode ser indicativo de maior crescimento da população fitoplancônica neste ponto em relação aos demais (PINHO *et al.*, 2018).

Figura 33 – Concentração de clorofila *a* na primeira campanha



Segundo Bucci e Oliveira (2014), o aumento de clorofila *a* é resultado tanto de ações antrópicas, como do represamento das águas. Eles observaram que nos reservatórios, que são ambientes lênticos, assim como a Lagoa das Piranhas, há maior incidência de luz, acúmulo de nutrientes e consequentemente aumento na concentração da clorofila *a*.

Não é possível afirmar que no ponto LPI4 há maior incidência de luz do que em outras regiões da lagoa, haja vista que todo espelho d'água aparenta estar exposto à radiação uniformemente. Entretanto nada se pode afirmar sobre a uniformidade da profundidade da lagoa, pois não existe levantamento batimétrico deste corpo hídrico. Portanto é possível que a profundidade neste ponto, a qual interfere na penetração da luz, responda pelo resultado obtido.

5.2.2 Segunda Campanha

Os resultados obtidos na segunda campanha, também realizada em período seco, estão apresentados na Tabela 6. Nesta, apenas a variável fósforo total não apresentou distribuição normal, conforme resultado do teste de Shapiro Wilk.

É possível observar que nesta campanha apenas o ponto RCO0 foi classificado como eutrófico, pois o IET calculado para esta região esteve

ligeiramente acima da faixa de valores considerada comum em ambientes mesotróficos, sendo esta a classificação de todos os outros pontos.

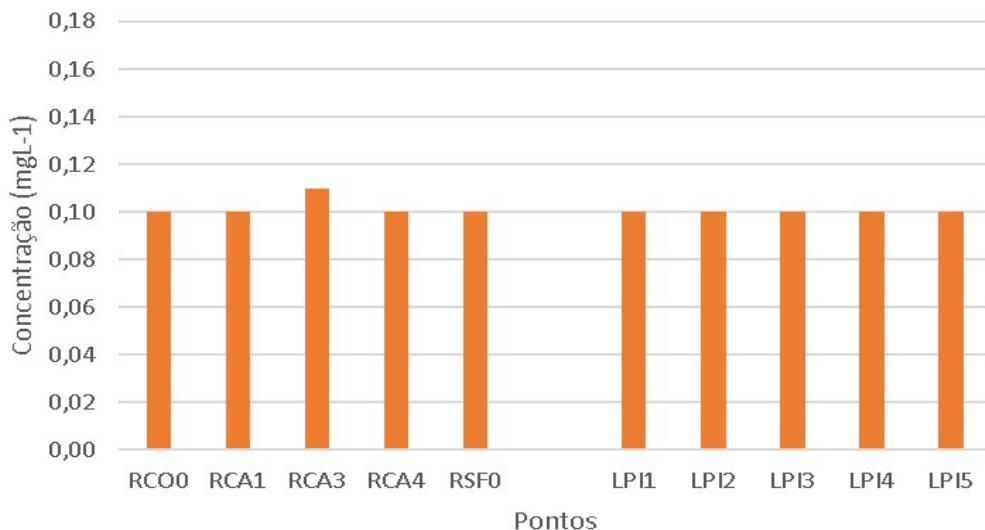
Tabela 6 – IETs obtidos na segunda campanha nos diversos ambientes analisados

	Nome do Ponto	Código	P_{total} (mg.L ⁻¹)	IET (P_{total})	Cl a ($\mu g.L^{-1}$)	IET (Cl a)	IET	Legenda
Lóticos	Rio Corrente	RC00	0,10	58	3,61	61	60	Oligotrófico
	Dreno do Formoso	RCA1	0,10	58	2,00	56	57	Mesotrófico
	Passagem Molhada	RCA3	0,11	58	3,00	60	59	
	Riacho da Cacimba	RCA4	0,10	58	3,21	60	59	
	Rio São Francisco	RSF0	0,10	58	3,06	60	59	
Lagoa	Lagoa pós Cacimba	LPI1	0,10	62	3,44	53	58	Eutrófico
	ETA	LPI2	0,10	62	4,21	54	58	
	Saída para o rio	LPI3	0,10	62	3,09	52	57	
	Cajazeiras	LPI4	0,10	62	2,95	52	57	
	Mandim	LPI5	0,10	62	3,30	53	58	

Em relação a limitação da produtividade, no ponto RCA1 foi considerada normal com IET (Cl a) igual a IET (P_{total}). Nos outros ambientes lóticos a limitação foi considerada baixa, com IET (Cl a) superior ao IET (P_{total}) e na Lagoa das Piranhas foi considerada alta, pois o IET (P_{total}) foi maior que o IET (Cl a). Neste aspecto, observou-se comportamento similar entre as duas campanhas do período seco.

A concentração de clorofila a e fósforo total durante a segunda campanha podem ser observadas nos gráficos das Figuras 34 e 35.

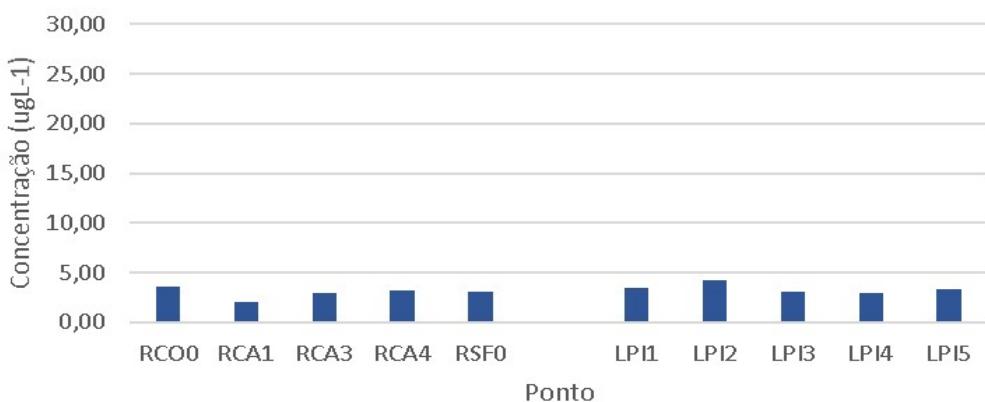
Figura 34 – Concentração de fósforo total na segunda campanha



Em relação ao fósforo total todos os pontos dos ambientes lóticos e lêntico, com exceção do RCA3, correspondente ao riacho da Cacimba, na região da passagem molhada, possuíam concentração deste parâmetro abaixo do limite de quantificação do método utilizado no laboratório, adotando-se para estes o próprio LQ ($0,10 \text{ mg.L}^{-1}$).

A variação da concentração de fósforo total entre os pontos de ambientes lóticos também foi menor nesta segunda campanha. No caso do ambiente lêntico, Lagoa das Piranhas, não houve qualquer variação, em ambas as campanhas foi adotada a concentração de $0,10 \text{ mg.L}^{-1}$ correspondente ao LQ.

Figura 35 – Concentração de clorofila a na segunda campanha



Em se tratando de ambientes lóticos, a maior concentração de clorofila *a* foi detectada no rio Corrente (RC00), o qual também foi o único a ser classificado como eutrófico. A menor concentração de clorofila *a* foi observada no dreno do Formoso A/H, tendo sido encontrado valor exatamente igual ao da primeira campanha: $2,0 \mu\text{g.L}^{-1}$.

No caso da Lagoa das Piranhas, o ponto que apresentou menor concentração deste parâmetro foi o LPI4, braço das Cajazeiras, sendo este resultado totalmente oposto ao da primeira campanha, na qual fora classificado como eutrófico. Já o maior valor detectado foi igual a $4,21 \mu\text{gL}^{-1}$, no LPI2, localizado próximo a estação de tratamento de água.

Considerando o período seco, a segunda campanha em relação à primeira campanha apresentou menor variação da concentração de clorofila *a* entre os pontos analisados.

Foi realizada comparação entre os IETs obtidos nesta e na primeira campanha, ambas realizadas em período seco, por meio do teste de Wilcoxon, demonstrando-se que o IET da primeira campanha foi considerado estatisticamente igual ao IET da segunda campanha, com nível de significância de 5% e *p*-valor igual $0,592 (>0,05)$.

A mediana do IET da primeira campanha foi igual a 57,88 e a da segunda campanha, 57,75. Assim, apesar da segunda campanha ter sido realizada em período mais seco que a anterior, quando o volume da Lagoa das Piranhas também foi inferior ao do primeiro período, não houve diferença estatística entre os índices medidos nos dias 13/05/2019 e 02/09/2019. Ressalta-se ainda que a carga de fósforo do Formoso A/H distinta entre as campanhas também não influenciou nos resultados.

5.2.3 Terceira Campanha e comparativo entre campanhas

Esta foi a única campanha realizada em período chuvoso, inclusive ocorreram chuvas intensas nos dias que antecederam a sua realização, provocando um adiamento das coletas em virtude da inviabilização de tráfego

nas estradas rurais utilizadas para chegar aos pontos amostrais (Figura 36). Nesta campanha, o volume da lagoa também foi o maior no período estudado.

Figura 36 – Situação da estrada de acesso a lagoa na terceira campanha



Os resultados obtidos na terceira campanha estão apresentados na Tabela 7. Nesta campanha nenhuma das variáveis apresentou distribuição normal, conforme resultado do teste de Shapiro Wilk.

No que se refere aos ambientes lóticos, dois pontos foram classificados como hipereutróficos, RCA3 e RCA4, riacho das Cacimbas tanto na região da passagem molhada quanto nas proximidades da sua foz, respectivamente. Um ponto foi classificado como eutrófico, RSF0, rio São Francisco. Dois pontos foram classificados como mesotróficos, RCO0 e RCA1, rio Corrente e dreno do Formoso A/H, respectivamente. Este último ponto foi o único a ser classificado como mesotrófico nas três campanhas.

Tabela 7 – IETs obtidos na terceira campanha nos diversos ambientes analisados

	Nome do Ponto	Código	P_{total} (mg.L ⁻¹)	IET (P_{total})	Cl a ($\mu g.L^{-1}$)	IET (Cl a)	IET	Legenda
Lóticos	Rio Corrente	RCO0	0,12	59	2,28	57	58	Oligotrófico
	Dreno do Formoso	RCA1	0,16	60	2,19	57	59	Mesotrófico
	Passagem Molhada	RCA3	0,10	58	26,87	79	69	Eutrófico
	Riacho da Cacimba	RCA4	0,10	58	28,81	79	69	Hipereutrófico
	Rio São Francisco	RSF0	0,10	58	4,42	63	61	
Lagoa	Lagoa pós Cacimba	LPI1	0,10	62	6,17	56	59	
	ETA	LPI2	0,10	62	5,22	55	59	
	Saída para o rio	LPI3	0,10	62	6,80	56	59	
	Cajazeiras	LPI4	0,10	62	2,12	50	56	
	Mandim	LPI5	0,10	62	4,87	54	58	

Todos os pontos da Lagoa das Piranhas foram classificados como mesotróficos. No entanto, como o índice calculado para cada um dos parâmetros demonstrou que IET (P_{total}) é maior que o IET (Cl a) nestes pontos, conclui-se que a limitação à produtividade primária na Lagoa das Piranhas foi alta, assim como nas campanhas anteriores. Portanto a partir do cálculo do IET não é possível afirmar que exista um estado de eutrofização plenamente estabelecido neste corpo hídrico.

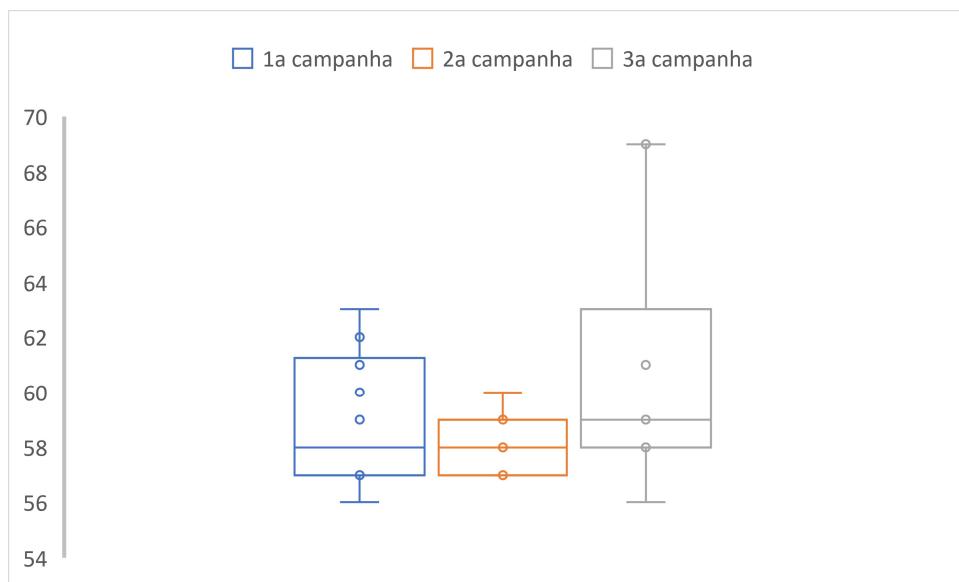
A limitação à produtividade primária nos ambientes lóticos foi considerada normal no RCO0, alta no RCA1 e baixa nos pontos RCA3, RCA4 e RSF0.

Os resultados obtidos para o Índice do Estado Trófico da Lagoa das Piranhas nas três campanhas realizadas permitiram classificá-la predominantemente como mesotrófica, indicando moderada concentração de nutrientes em suas águas e, portanto, produtividade primária intermediária, com possíveis prejuízos aos usos múltiplos. Classificação similar foi verificada na represa Dr. João Penido, localizada em Minas Gerais, segundo Bucci e Oliveira (2014).

Por meio do teste de Wilcoxon foi avaliada a similaridade do IET entre a terceira e a primeira campanha, considerada estatisticamente similar à

segunda. O resultado demonstrou que não houve diferença entre o IET do período seco e do período chuvoso, com nível de significância de 5%, tendo sido obtido p-valor igual a 0,201 ($>0,05$). A mediana da terceira campanha foi igual a 58,75. Por meio do gráfico da Figura 37 é possível visualizar a similaridade entre a mediana dos índices em cada campanha.

Figura 37 – Variação do IET durante o estudo (Box-plot)



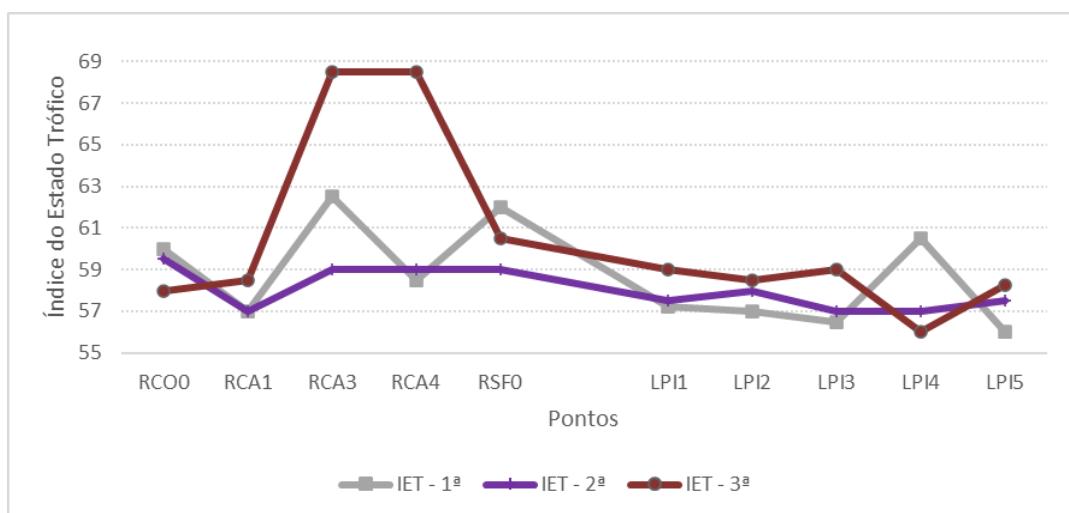
É possível observar que a variação dos dados coincide predominantemente com a faixa que define os valores para classificação mesotrófica ($52 < \text{IET} \leq 59$), conforme se pode observar na Tabela 8. Os *outliers* correspondem aos pontos considerados hipereutróficos na terceira campanha.

Tabela 8 – Resultados do IET

Nome do Ponto	Código	IET – 1a	IET – 2a	IET – 3a	Legenda
Rio Corrente	RC00	60	60	58	Mesotrófico
Dreno do Formoso	RCA1	57	57	59	Eutrófico
Passagem Molhada	RCA3	63	59	69	Hipereutrófico
Riacho da Cacimba	RCA4	59	59	69	
Rio São Francisco	RSF0	62	59	61	
Lagoa pós Cacimba	LPI1	57	58	59	
ETA	LPI2	57	58	59	
Saída para o rio	LPI3	57	57	59	
Cajazeiras	LPI4	61	57	56	
Mandim	LPI5	56	58	58	

Por meio do gráfico da Figura 38 se observa que os valores mínimos do IET foram verificados em pontos da Lagoa das Piranhas; no Mandim (LPI5) na primeira campanha, período seco e no braço das Cajazeiras (LPI4) na terceira campanha, período chuvoso. Esta última campanha também apresentou os máximos valores do IET no estudo, nos pontos RCA3 e RCA4, ambos no riacho das Cacimbas.

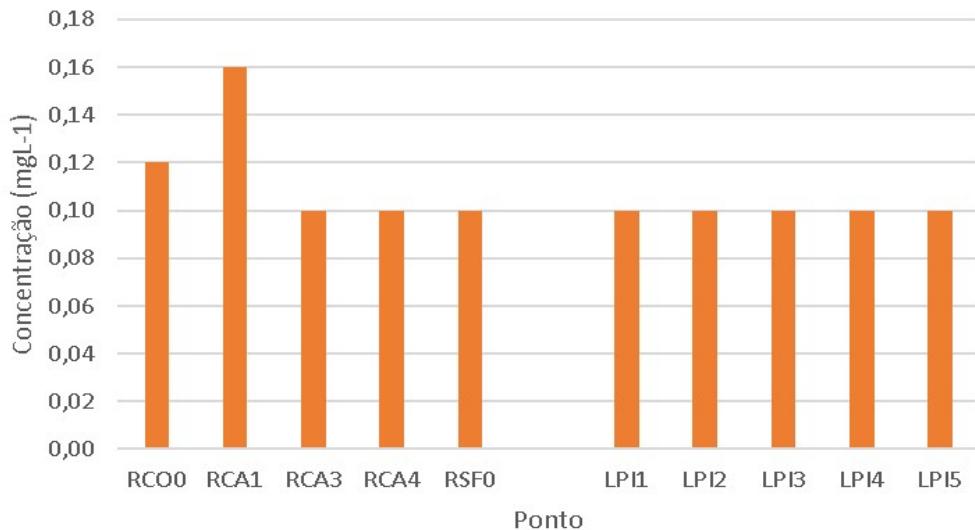
Figura 38 – Variação do IET durante o estudo



Acerca do fósforo total, assim como nas campanhas do período seco, observou-se pequena variação em sua concentração durante a terceira

campanha que corresponde ao período chuvoso, somente em ambientes lóticos (Figura 39). Nesta os maiores valores foram observados nos pontos RCA1, dreno do Projeto Formoso, seguido do RCO0, rio Corrente.

Figura 39 – Concentração de fósforo total na terceira campanha



Considerando este aumento na concentração de fósforo total entre o ponto de captação e o da drenagem do Projeto é possível inferir que houve carreamento deste elemento do solo para a água coletada no dreno no período chuvoso. Uma vez que existe uma relação entre escoamento superficial e transporte de fósforo total são esperadas maiores concentrações deste parâmetro em períodos chuvosos (RIBEIRO *et al.*, 2014).

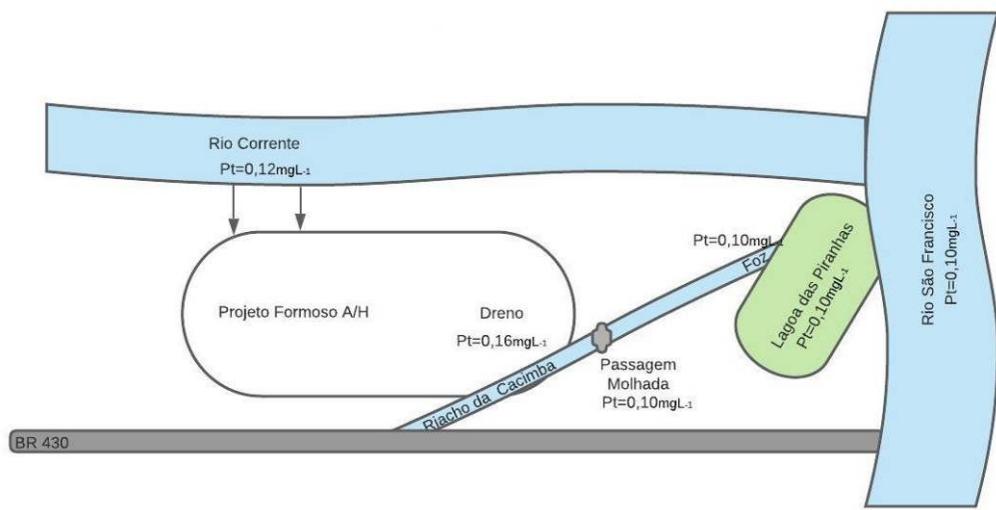
A literatura destaca que a drenagem de solos agrícolas pode contribuir para o aumento na concentração de nutrientes em corpos hídricos, alterando a sua qualidade, interferindo na biogeoquímica e biodiversidade local (LONGLEY *et al.*, 2019; PADEDDA *et al.*, 2015).

De acordo com Li *et al.* (2020), em estudo realizado em área agrícola com plantação de cana-de-açúcar, o pico de exportações de fósforo particulado ocorreu em períodos chuvosos que não necessariamente consistiam em momentos de maiores aplicação de fertilizantes. Para eles, o fósforo ao ser aplicado é rapidamente fixado por processos de precipitação e adsorção de íons fosfato com matéria orgânica ou metais. Segundo eles apenas algumas

intensidades de precipitação podem desencadear processos erosivos com consequente transporte de sedimentos e nutrientes.

Portanto entende-se que as chuvas ocorridas no período da terceira campanha, as quais foram consideradas as de maior intensidade dentro de um período de pouco mais de uma década, podem ter contribuído para o transporte de nutrientes ao longo do sistema de drenagem do Formoso A/H.

Figura 40 – Fósforo total nos ambientes na terceira campanha

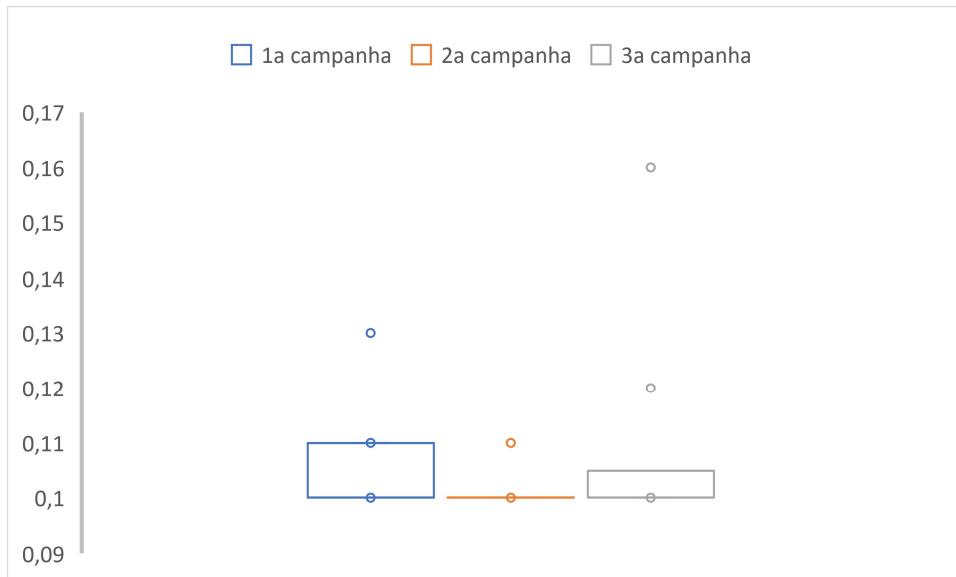


Entretanto, considerando a Figura 40, é possível observar que após a saída do Formoso A/H, houve uma redução na concentração de fósforo total ao longo do riacho das Cacimbas, equivalente a $0,6 \text{ mg.L}^{-1}$, sendo registrado no ponto da passagem molhada (RCA3) o valor de $0,10 \text{ mg.L}^{-1}$, o qual se manteve até chegar à Lagoa das Piranhas, inclusive em seu interior. Esta concentração também foi identificada no rio São Francisco.

O pico observado na concentração de fósforo total no dreno do Formoso A/H, durante o período chuvoso, pode ter refletido na classificação do estado trófico dos pontos localizados imediatamente à sua jusante, RCA3 e RCA4, que foram considerados hipereutróficos. Segundo Machado, Knapik e Bitencourt (2019), em regiões nas quais se substituiu as práticas conservacionistas por plantio direto, existe uma significativa contribuição de nutrientes que podem provocar eutrofização em corpos hídricos a jusante.

Por meio do gráfico da Figura 41 é possível visualizar a variação do fósforo total ao longo das três campanhas realizadas. No período seco (primeira e segunda campanhas) houve um ponto discrepante em cada campanha. Já na terceira campanha, houve dois pontos discrepantes.

Figura 41 – Variação da concentração de fósforo total nas três campanhas

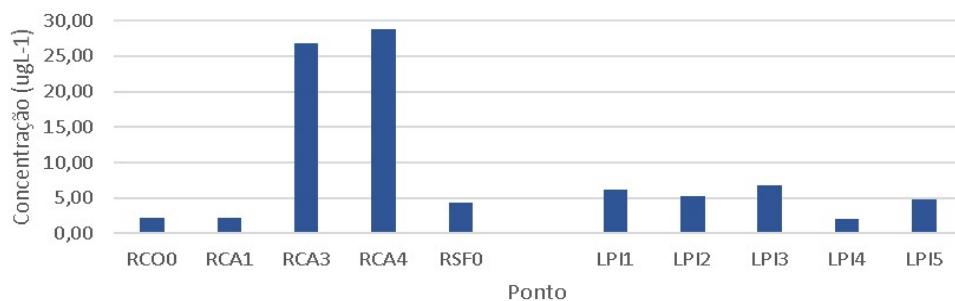


Com exceção dos *outliers* observa-se a manutenção nos valores de concentração de fósforo total próximo a $0,10 \text{ mg.L}^{-1}$ independente de tratar-se de período seco ou chuvoso. Este resultado é compatível com o observado por Longley *et al.* (2019) no Lago George, Flórida, no qual não houve indicativo de que a chuva impactasse diretamente na variação de nutrientes neste corpo hídrico.

Entretanto considerando que as chuvas contribuem para o transporte de nutrientes em bacias onde se desenvolvem atividades agrícolas (TRENTMAN *et al.*, 2020), esperava-se encontrar no período chuvoso maior concentração de fósforo total na lagoa oriundo das áreas produtivas (LI *et al.*, 2020). Tratando somente do Formoso A/H, que corresponde a uma das áreas agrícolas da microbacia do riacho das Cacimbas, o que se verificou foi uma redução da carga de nutrientes entre a saída do Projeto e a entrada na Lagoa das Piranhas.

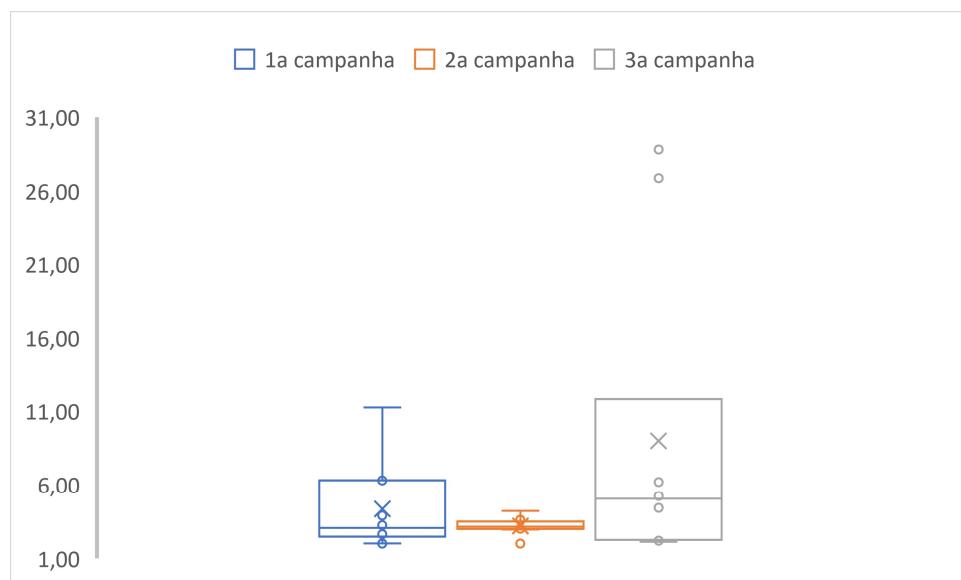
No que diz respeito a clorofila *a*, este parâmetro apresentou os maiores valores nesta terceira campanha conforme se pode observar no gráfico da Figura 42, sendo os máximos observados nos pontos correspondentes a dois dos ambientes lóticos, os quais foram classificados como hipereutróficos: RCA3 e RCA4 e que estão imediatamente a jusante do dreno no qual foi observada a maior concentração de fósforo total.

Figura 42 – Concentração de clorofila *a* na terceira campanha



Por meio do gráfico da Figura 43 é possível visualizar a variação deste parâmetro ao longo das três campanhas, no qual se observam alguns *outliers*, que correspondem a valores discrepantes e são comuns quando se trata de dados ambientais (SABINO, LAGE e ALMEIDA, 2014).

Figura 43 – Variação da concentração de clorofila *a* nas três campanhas



5.3 AVALIAÇÃO DOS AMBIENTES DO ESTUDO

5.3.1 Rio Corrente (RCO0)

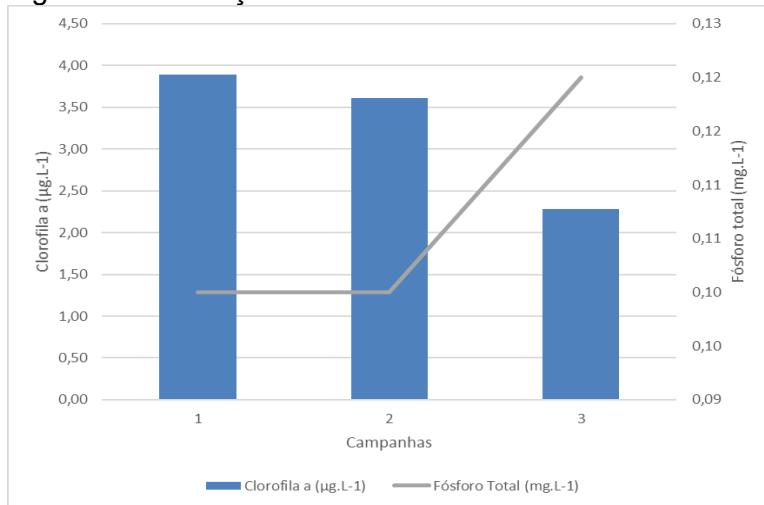
Corresponde ao manancial que abastece o Formoso A/H (Figura 44). Os maiores valores de clorofila *a* foram observados neste ponto durante as campanhas correspondentes ao período seco, iguais a $3,89 \mu\text{g.L}^{-1}$ e $3,61 \mu\text{g.L}^{-1}$, primeira e segunda, respectivamente. No período chuvoso (terceira campanha) a concentração foi igual a $2,28 \mu\text{g.L}^{-1}$. Em relação ao fósforo total, nas duas campanhas do período seco a concentração foi igual a $0,10 \text{ mg.L}^{-1}$ e o maior valor foi detectado no período chuvoso, igual a $0,12 \text{ mg.L}^{-1}$ (Figura 45).

Maior concentração de nutrientes em afluentes do rio São Francisco também foi percebida por Britto *et al.* (2018) no período chuvoso como consequência do escoamento em áreas de projetos de irrigação, os quais praticam a aplicação de fertilizantes e agrotóxicos. No caso do ponto RCO0 ele está à montante do Formoso A/H.

Figura 44 – Rio Corrente



Figura 45 – Variação de clorofila a e fósforo total no Rio Corrente



Foi classificado como eutrófico no período seco (primeira e segunda campanhas) e como mesotrófico no período chuvoso (terceira campanha). É válido ressaltar que embora nesta última campanha tenha sido verificada a maior concentração de fósforo total, o que indica um aumento na disponibilidade deste nutriente para o corpo hídrico, o qual é função das características da bacia hidrográfica (SILVA *et al.*, 2018) do rio Corrente, a produtividade primária neste período foi menor, a qual pode ter sido influenciada pelas condições do corpo hídrico relativas a velocidade e turbidez, por exemplo.

A classificação obtida para o rio Corrente diverge da observada por Britto *et al.* (2018), em 36% dos afluentes estudados em um trecho do Baixo São Francisco, que foram classificados como eutróficos no período chuvoso em 2013. Em 2014 eles observaram a classificação hipereutrófica em 47% dos afluentes, o que mostra uma tendência a elevação do estado trófico na região evidenciada principalmente no período chuvoso. Já Lopes *et al.* (2019) também observaram maiores valores do IET na estação seca em bacias localizadas na Região de Planejamento das Águas Leste, no estado da Bahia.

Entretanto é importante reforçar que o clima não é a única variável que influencia na qualidade de água dos rios. De acordo com Alnahit, Mishra e Khan (2020), que avaliaram as bacias hidrográficas da região Atlântico Sudeste dos Estados Unidos, as propriedades e ocupação do solo, bem como a

topografia da bacia também exercem influência na variação dos parâmetros que caracterizam as águas, o que pode justificar a classificação trófica do rio Corrente.

5.3.2 Dreno do Formoso (RCA1)

Considerando o entendimento de Trentman *et al.* (2020) acerca de drenos de irrigação, é possível dizer que o sistema de drenagem do Formoso A/H evita inundações e assim contribui para aumentar a produtividade das atividades agrícolas desenvolvidas em sua área. Conforme já citado em seções anteriores, o traçado do dreno (Figura 46) coincide com o percurso do riacho das Cacimbas, e assim este corpo hídrico transporta as águas de drenagem do Formoso A/H.

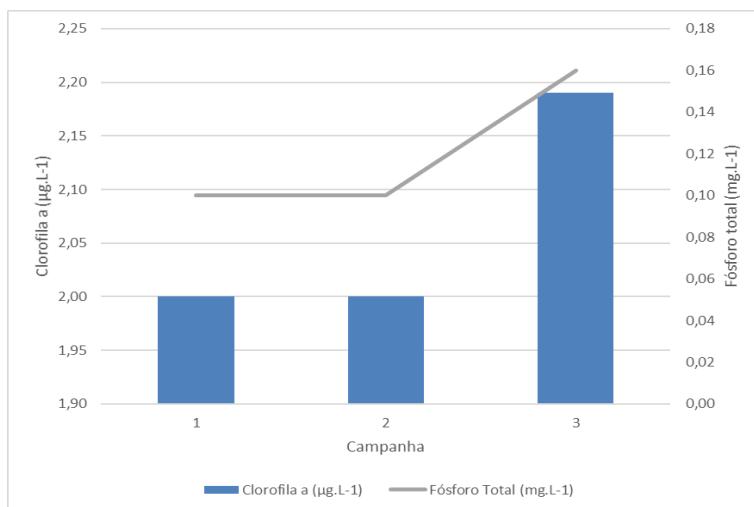
A concentração de clorofila *a* próximo a saída do dreno foi igual a 2,00 $\mu\text{g}.\text{L}^{-1}$ nas duas campanhas do período seco e 2,19 $\mu\text{g}.\text{L}^{-1}$ no período chuvoso. Já a concentração de fósforo total foi igual a 0,10 $\text{mg}.\text{L}^{-1}$ nas duas campanhas do período seco e 0,16 $\text{mg}.\text{L}^{-1}$ no período chuvoso (Figura 47).

Santos *et al.* (2014), em estudo realizado na bacia do rio Jaguaribe, Ceará, fizeram constatação similar. Verificaram maiores concentrações de fósforo total durante a estação chuvosa e em dois dos seis pontos correspondentes a afluentes ao reservatório Orós, que se constituem em riachos intermitentes e que drenam áreas de agricultura e pecuária.

Figura 46 – Dreno do Formoso A/H



Figura 47 – Variação de clorofila a e fósforo total no Dreno



De acordo com Trentman *et al.* (2020), os sistemas de drenagem embora aumentem a eficiência produtiva, também são responsáveis por transportar nutrientes através de seus canais que podem desencadear o processo de eutrofização em corpos hídricos receptores, especialmente durante os períodos de precipitação. Por isso eles salientam a necessidade de maior conhecimento sobre os processos envolvidos com o transporte de fósforo reativo solúvel das áreas agrícolas para os corpos hídricos, associada a avaliação de medidas para sua retenção.

O dreno foi classificado como mesotrófico nas três campanhas, tendo sido observada uma pequena elevação no período chuvoso, no qual o aumento na concentração de fósforo total impulsionou a produtividade primária e elevação na concentração de clorofila a.

Por se tratar de um corpo hídrico lótico suas características não tem sido propícias ao desenvolvimento da eutrofização. Além disso, como medida de manutenção no sistema de drenagem do Formoso A/H, regularmente é realizada pelo DIF, a remoção de plantas, sedimentos e matéria orgânica em geral, o que contribui para evitar a eutrofização neste ponto.

Corroborando com este entendimento Esteves (2011), afirma que o aumento do fluxo de água contribui para redução de biomassa de algas. Ele salienta ainda que a remoção de macrófitas aquáticas é o método mais eficaz para sua eliminação. Lin *et al.* (2020), salientam que a remoção de lamas e algas são ações eficazes no combate ao processo de poluição.

5.3.3 Riacho das Cacimbas no trecho da passagem molhada (RCA3)

A passagem molhada (Figura 48) se constitui em um ponto localizado há cerca de 8 km da saída do Projeto Formoso A/H e há 1 km da Lagoa das Piranhas (Figura 49).

Figura 48 – Passagem molhada



É possível perceber que além do dreno do Formoso A/H, o riacho das Cacimbas recebe drenagem de outras áreas produtivas no interior de sua bacia. Na definição dos pontos de amostragem previu-se a avaliação de ponto em área não influenciada pelo dreno do projeto, sendo selecionado o RCA2 devido a facilidade no acesso, entretanto em todas as campanhas este não possuía água suficiente para coleta.

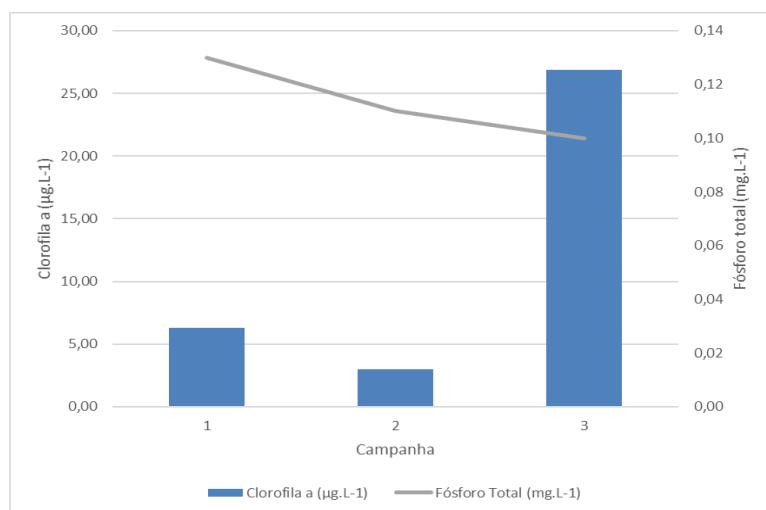
Figura 49 – Localização da passagem molhada



Na passagem molhada a concentração de clorofila *a* foi igual a $6,29 \mu\text{g.L}^{-1}$ e $3,00 \mu\text{g.L}^{-1}$ na primeira e segunda campanha, respectivamente. Já na terceira (período chuvoso) o valor foi igual a $26,87 \mu\text{g.L}^{-1}$, o maior de todo o estudo entre todos os pontos. A concentração de fósforo total apresentou o maior valor na primeira campanha igual a $0,13 \text{ mg.L}^{-1}$ e o menor valor na terceira igual a $0,10 \text{ mg.L}^{-1}$. Na segunda a concentração foi igual a $0,11 \text{ mg.L}^{-1}$, conforme se pode observar na Figura 50.

Este ponto apresentou classificação distinta em cada uma das três campanhas, sendo eutrófico na primeira, mesotrófico na segunda e hipereutrófico na terceira.

Figura 50 – Variação de clorofila *a* e fósforo total na passagem molhada



Lin *et al.* (2021) perceberam uma redução de nutrientes na coluna d'água do Lago Erhai, na China, devido a sua absorção por organismos fitoplancônicos, os quais tiveram um crescimento excessivo. É possível observar neste ponto da passagem molhada, conforme a Figura 48, a presença de grande quantidade de taboa (*Typha dominguenses*), um tipo de macrofita aquática. Colonizado por este tipo de organismo, o canal do riacho das Cacimbas passa a atuar como estação de tratamento de efluentes (ETE) verde conhecida como sistema alagado construído (SAC) (ESTEVES, 2011). Estes sistemas possuem a capacidade de remoção de fósforo total (FIA *et al.*, 2020).

Gunkel *et al.* (2018) também afirmam que o tratamento de água de drenagem de áreas agrícolas, por meio de SAC, pode auxiliar na redução do nível do estado trófico do reservatório de Itaparica, localizado no rio São Francisco, o qual também recebe contribuições de nutrientes da aquicultura.

Deve-se atentar, no entanto, que as macrófitas em quantidade excessiva, quando de sua morte e decomposição podem reduzir a qualidade da água. Por isso a remoção de parte destas plantas com adequada frequência seria uma importante medida de promoção de qualidade das águas, entretanto trata-se de uma ação onerosa, que demanda a utilização de máquinas para sua execução.

5.3.4 Riacho das Cacimbas na região da sua foz (RCA4)

Segundo moradores da comunidade de Lagoa das Piranhas, o riacho das Cacimbas tem este nome devido ao acúmulo de água em bacias de captação que se formavam ao longo do seu trajeto durante as chuvas mais intensas. Essas bacias eles chamam de Cacimbas. Atualmente o riacho das Cacimbas possui fluxo durante quase todo o ano conforme se pode verificar nas Figuras 51 e 52, que representam uma estação seca e chuvosa, respectivamente.

A concentração de clorofila *a* neste ponto também foi maior na terceira campanha, igual a $28,81 \mu\text{g.L}^{-1}$, sendo a menor na primeira igual a $2,74 \mu\text{g.L}^{-1}$ e na segunda o valor foi $3,21 \mu\text{g.L}^{-1}$. A concentração de fósforo total na segunda e terceira campanhas foi igual a $0,10 \text{ mg.L}^{-1}$, embora uma corresponda ao período seco e a outra ao chuvoso. Já na primeira apresentou o maior valor igual a $0,11 \text{ mg.L}^{-1}$ (Figura 53). Este ponto foi classificado como mesotrófico nas campanhas do período seco e hipereutrófico no período chuvoso.

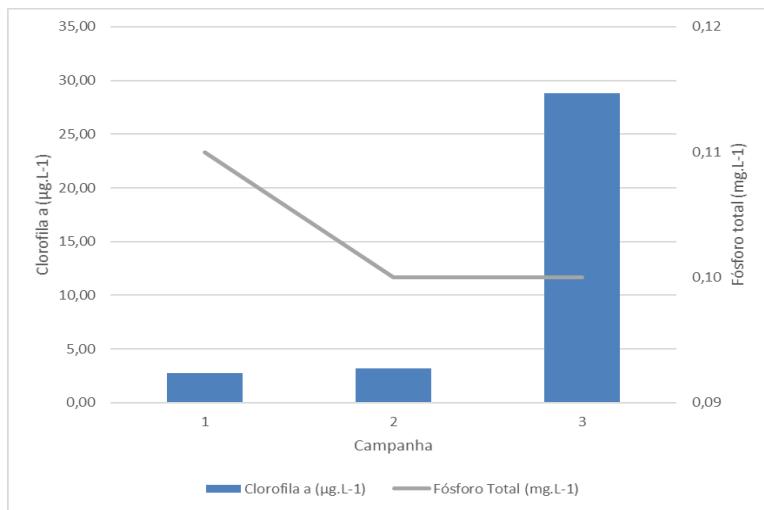
Figura 51 – Foz do riacho das Cacimbas na segunda campanha



Figura 52 – Foz do riacho das Cacimbas na terceira campanha



Figura 53 – Variação de clorofila a e fósforo total na foz do riacho das Cacimbas



5.3.5 Rio São Francisco (RSF0)

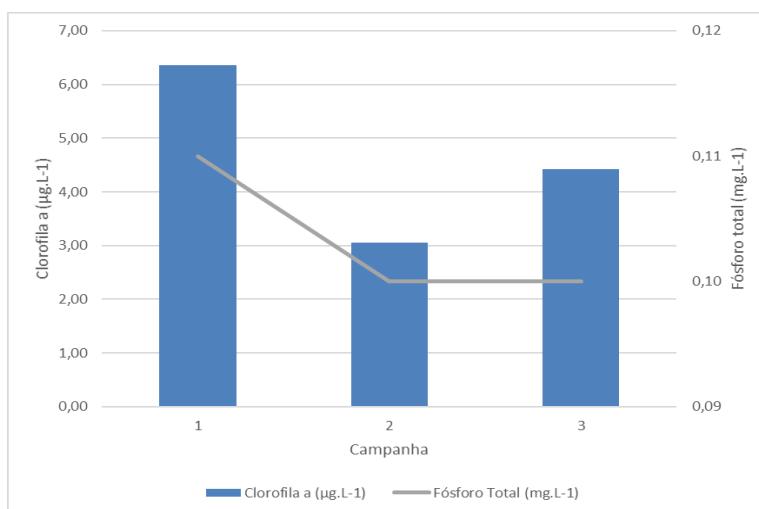
As concentrações de clorofila a no rio São Francisco (Figura 54) foram iguais a $6,36 \mu\text{g.L}^{-1}$, $3,06 \mu\text{g.L}^{-1}$ e $4,42 \mu\text{g.L}^{-1}$, na primeira, segunda e terceira campanhas respectivamente, sendo as duas primeiras correspondentes ao período seco e a última ao chuvoso. A concentração de fósforo total foi igual a $0,11 \text{ mg.L}^{-1}$ na primeira e $0,10 \text{ mg.L}^{-1}$ na segunda e terceira (Figura 55), o que demonstra que a chuva não alterou significativamente a concentração deste nutriente.

Medeiros *et al.* (2016) também não observaram variação significativa na concentração de fósforo dissolvido na região do baixo São Francisco nos anos de 2001 e 2007, nos quais foram observados volumes de precipitação antagônicos em relação à média histórica. Nas bacias dos rios Almada, Una e Cachoeira, no estado da Bahia, também não houve diferença significativa na concentração deste parâmetro entre as distintas estações considerando avaliação entre os anos de 2008 e 2015 (LOPES *et al.*, 2019).

Figura 54 – Rio São Francisco



Figura 55 – Variação de clorofila a e fósforo total no rio São Francisco



No que tange à presença de nutrientes e consequente risco de eutrofização nas águas do rio São Francisco, nos limites do município de Bom Jesus da Lapa é importante considerar que a zona urbana não trata 60% dos esgotos gerados e os 40% dos esgotos coletados são tratados a nível secundário (CBHSF, 2018).

Segundo Sperling (2005), o tratamento secundário realizado pelo sistema de lagoas anaeróbias seguidas de facultativas que constituem a Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) de Bom Jesus da Lapa, objetiva a remoção de matéria orgânica. A remoção de fósforo é esperada em ETEs com tratamento terciário (JOHANNESDOTTIR *et al.*, 2020).

Na ETE de Bom Jesus da Lapa não é realizado monitoramento de fósforo total. Os parâmetros analisados são coliformes termotolerantes, DBO e DQO. Portanto não é possível definir com precisão a carga de fósforo oriunda deste sistema.

Vale ressaltar que Oliveira *et al.* (2017) perceberam ao analisar vários parâmetros, entre eles, fósforo total que o impacto da agricultura e da ocupação urbana em um mesmo corpo hídrico da bacia do rio São Francisco eram similares.

O rio São Francisco foi classificado como eutrófico na primeira e terceira campanhas e mesotrófico na segunda. É interessante salientar que caso fosse considerado o resultado do IET relativo apenas a clorofila *a*, a classificação seria supereutrófica na primeira campanha e eutrófica na segunda e terceira. Estes resultados divergem dos que foram observados na região do Baixo São Francisco por Medeiros *et al.* (2016), pois neste trecho do rio as concentrações de clorofila *a* foram compatíveis com as de ambientes oligotróficos. Segundo os autores essas concentrações são inferiores a de outros rios tropicais.

Entretanto é válido ressaltar que a partir dos estudos que vem sendo realizados visando a elaboração do Plano de Recursos Hídricos do rio Corrente, nos quais está sendo considerada, também, a avaliação do estado trófico do rio São Francisco entre os municípios de Carinhanha e Ibotirama, verificou-se que “os valores de IET foram elevados, atingindo inclusive condição de supereutrofia” (INEMA, 2020b, p. 52). Esta avaliação também concluiu que um dos pontos com médias mais elevadas de fósforo total se localiza no município de Bom Jesus da Lapa, cuja concentração foi igual a 0,08 mg.L⁻¹.

5.3.6 Lagoa das Piranhas (LPI1, LPI2, LPI3, LPI4 e LPI5)

A Lagoa das Piranhas se constitui em uma planície de inundação, adjacente ao rio São Francisco, consistindo em uma transição entre o ambiente terrestre e aquático (WALTON *et al.*, 2020).

A concentração de fósforo total em todos os pontos da lagoa nas três campanhas realizadas foi igual a $0,10 \text{ mg.L}^{-1}$. Interessante notar que na primeira campanha este valor foi inferior ao de seus principais afluentes, riacho das Cacimbas e rio São Francisco, cuja concentração foi igual a $0,11 \text{ mg.L}^{-1}$.

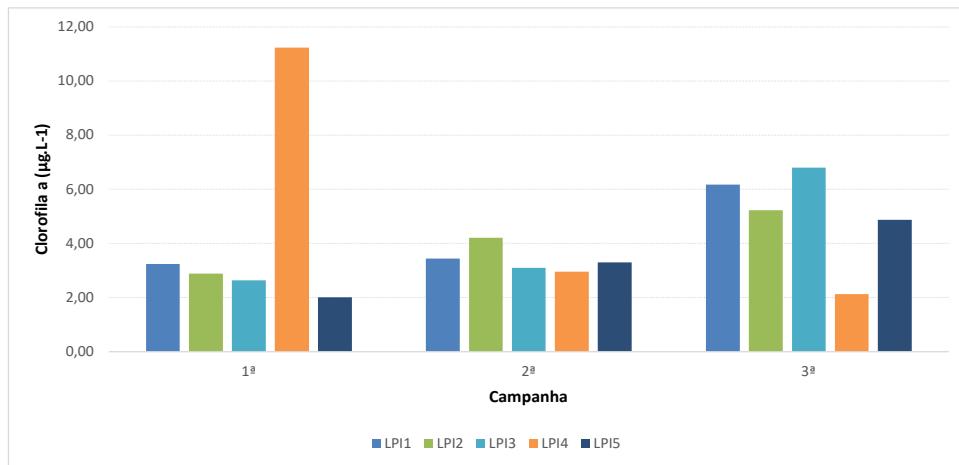
Segundo Schneider *et al.* (2020), a baixa concentração de nutrientes na coluna d'água pode não significar necessariamente a ausência de apporte destes para o corpo hídrico. Antes pode ser o reflexo de sua maior absorção pelas macrófitas ou algas bentônicas como reflexo da intensa produtividade primária.

Mas no caso específico da Lagoa das Piranhas, os resultados das análises não demonstram intensa produtividade primária na primeira campanha. Na verdade, a maior parte da lagoa possuía concentração de clorofila *a* compatível com ambientes oligotróficos, caracterizada por baixa produtividade primária e sem prejuízo aos usos múltiplos. Apenas no ponto LPI4 foi identificada concentração de clorofila *a* compatível com ambientes mesotróficos. A variação na concentração da clorofila *a* na Lagoa das Piranhas pode ser observada tanto no Quadro 7, quanto por meio do gráfico da Figura 56.

Quadro 7 – Concentração de clorofila *a* ($\mu\text{g.L}^{-1}$) na Lagoa das Piranhas

Ponto		1 ^a Campanha	2 ^a Campanha	3 ^a Campanha
Lagoa pós Cacimba	LPI1	3,24	3,44	6,17
ETA	LPI2	2,88	4,21	5,22
Saída para o rio	LPI3	2,63	3,09	6,80
Cajazeiras	LPI4	11,24	2,95	2,12
Mandim	LPI5	2,00	3,30	4,87

Figura 56 – Variação de clorofila a na Lagoa das Piranhas



A ocorrência das chuvas provocou um aumento na concentração da clorofila a na maior parte dos pontos, com exceção do LPI4 que teve comportamento completamente contrário ao longo do estudo, o que demonstra que houve variação espacial na concentração deste parâmetro, considerando os cinco pontos amostrais. Pode ser um indicativo de que os pontos possuem características distintas, como por exemplo, profundidade, a ser atestada mediante execução de batimetria para determinação da sua profundidade.

No reservatório Orós, no Ceará, também pertencente a região semiárida, os resultados foram diferentes, pois maiores concentrações médias de clorofila a, foram registradas durante a estação seca, segundo Santos *et al.* (2014). Os autores ressaltaram que neste período as temperaturas são mais altas devido a maior intensidade de radiação. Além disso, a zona eufótica é ampliada, pois não há entrada de sedimentos a partir da drenagem, o que reduz a turbidez, possibilitando assim maior atividade fotossintética.

Já Gunkel *et al.* (2018) observaram crescimento excessivo de fitoplâncton na região do reservatório Itaparica, sub-médio São Francisco, durante o período de chuvas intensas. Eles atribuem este resultado a intensa carga de nutrientes recebida neste período em um curto intervalo de tempo, devido ao escoamento superficial, descarga de afluentes, além da entrada de solo superficial e, também, de resíduos.

Em relação ao estado trófico, a Lagoa das Piranhas foi classificada como meso a eutrófica na primeira campanha e mesotrófica nas segunda e terceira,

que consistem em uma estação seca e chuvosa, respectivamente. Ficou evidente que a pluviometria no período estudado não influenciou o estado trófico deste corpo hídrico.

Esse resultado diverge do observado por Silva *et al.*, (2018), nos reservatórios de Guarapiranga e Billings, localizados na Bacia do Alto Tietê, cujos graus de trofia foram maiores na estação mais chuvosa.

Entretanto em monitoramento realizado em agosto de 2011, a Lagoa das Piranhas já havia sido classificada como meso a eutrófica, devido a alta concentração de clorofila *a* (9,70 a 18,69 $\mu\text{g.L}^{-1}$) e fósforo total (0,04 mg.L^{-1}). Os autores salientaram a possibilidade de o aporte de nutrientes ser maior do que a capacidade de depuração deste corpo hídrico, o qual poderia ficar eutrofizado. Neste estudo foram identificados organismos indicadores de eutrofização como *Euglenophyceae* e *Brachionus angularis* (CODEVASF, 2011).

Os resultados obtidos no presente estudo, considerando somente o IET indicam que a Lagoa das Piranhas não se encontra com o processo de eutrofização plenamente estabelecido.

Embora classificada predominantemente como mesotrófica, a lagoa apresenta sinais de eutrofização como o crescimento de macrófitas (ESTEVES, 2011), que pode ser observado em algumas das imagens constantes no Quadro 8. É possível concluir que a metodologia do IET não foi capaz de avaliar a produção destas macrófitas.

Entretanto a situação observada na lagoa demanda atenção e imediata intervenção, haja vista a capacidade que este tipo de corpo hídrico possui de reter nutrientes, inclusive ao evitar que eles cheguem aos rios a sua jusante (WALTON *et al.*, 2020).

Quadro 8 – Situação dos pontos amostrais da Lagoa das Piranhas

Ponto/ Cam- panha	1 ^a Campanha (Período Seco – Maio/19)	2 ^a Campanha (Período Seco – Set/19)	3 ^a Campanha (Período Chuvoso – Jan/20)
LPI1			
LPI2			
LPI3			
LPI4			
LPI5			

Diante dessa constatação, serão apresentadas no item a seguir algumas propostas para melhoria da qualidade das águas da Lagoa das Piranhas.

5.4 PROPOSTAS PARA MELHORIA DA QUALIDADE DAS ÁGUAS DA LAGOA DAS PIRANHAS E SUA RELAÇÃO COM A GESTÃO

Inicialmente é necessário considerar que a principal atividade desenvolvida na microbacia do riacho das Cacimbas na qual se encontra inserida a Lagoa das Piranhas é a agricultura e que existem estudos como o realizado por Lin *et al.* (2020), que apontam a expansão da agricultura como principal causa da eutrofização. Estes autores identificaram que devido ao

aumento da população no entorno do Lago Erhai na China, houve maior demanda por produtos agrícolas e consequentemente maior disponibilidade de nutrientes.

Zhang *et al.* (2019), por meio de modelagem realizada na bacia do Lago Taihu, China também perceberam que as áreas agrícolas contribuem de maneira mais significativa para o aporte de fósforo total à jusante do que outros usos do solo como urbanização, por exemplo, que chega a ser três vezes inferior ao da agricultura. Segundo eles, uma expansão de 15% da agricultura na área da bacia implicaria em um aumento de 50% na contribuição de fósforo total. Eles verificaram que 24% do fósforo transportado pela bacia havia sido interceptado nos lagos e, portanto, a estes ecossistemas deve se dar a devida atenção quanto ao gerenciamento e manutenção.

Considerando a relação existente entre a perda de fósforo a partir do escoamento superficial e a fertilização do solo (FISCHER *et al.*, 2018), bem como o fato de que geralmente este elemento é o nutriente limitante em lagos rasos (LIN *et al.*, 2021), devem ser previstas ações que induzam os agricultores da bacia do riacho das Cacimbas à realização do adequado manejo de fertilizantes. Estes devem ser demandados a verificarem regularmente a fertilidade do solo, bem como a evitar a fertilização, especialmente em períodos que antecedem picos de precipitação pluviométrica (LI *et al.*, 2020). Esta ação pode contribuir para restauração ecológica da lagoa (GARCIA NIETO *et al.*, 2019).

Já Li *et al.* (2020), entendem que o controle da poluição agrícola deve contemplar, além da redução do uso de fertilizantes, o manejo adequado do solo. Portanto a não utilização de práticas conservacionistas na bacia do riacho das Cacimbas pode favorecer maior aporte de sedimentos para a Lagoa das Piranhas (SOUZA e GASTALDINI, 2019). Aliado as mudanças climáticas, o acúmulo de sedimentos pode reduzir ainda mais o nível deste corpo hídrico, favorecendo a eutrofização, devido a maior concentração de nutrientes e disponibilidade de luz (YAN *et al.*, 2020). Lin *et al.* (2021), consideram que os lagos rasos são mais vulneráveis à eutrofização.

Considerando essas propostas iniciais fica evidente a necessidade da gestão dos recursos hídricos ser integrada à gestão ambiental, modelo considerado adequado especialmente para corpos hídricos cujo entorno concentra intensa atividade como a agricultura (ANA, 2020). Ressalta-se que a obrigatoriedade de utilização de práticas de conservação do solo e água pelos agricultores no âmbito estadual, se encontra estabelecida na Portaria nº 12.251 do Inema (INEMA, 2016).

Fica evidente também a importância da educação ambiental para conservação dos ambientes nos quais os corpos hídricos estão inseridos. E considerando o que estabelece a Política Nacional de Educação Ambiental, o Inema, a Codevasf e outras instituições atuantes na região tem responsabilidade de promover a educação ambiental. Entretanto, os próprios agricultores, que compõem a sociedade “precisam manter atenção permanente à formação de valores, atitudes e habilidades que propiciem a atuação individual e coletiva voltada para prevenção, a identificação e a solução de problemas ambientais” (BRASIL, 1999).

Outro aspecto a se considerar é que o isolamento da Lagoa das Piranhas em boa parte do ano resulta em menor troca de água entre este ambiente e o rio São Francisco, implicando em redução na capacidade de diluição de nutrientes e consequentemente alteração da qualidade das suas águas que ainda recebem a drenagem da bacia (GUNKEL *et al.*, 2018). Pires *et al.* (2015) perceberam uma grande correlação positiva entre o tempo de residência e a concentração de clorofila a, indicador de biomassa algal.

Percebe-se assim que a operação da comporta manual pela população deve ser precedida da avaliação do tempo de residência adequado para manutenção da qualidade das suas águas que atendem aos usos múltiplos.

Aliado a essa ação e considerando a percepção da redução da profundidade da lagoa pela população, o que demandou segundo eles a instalação e operação da comporta manual no canal que interliga com o rio São Francisco. Considerando ainda que esta redução da profundidade deve ser resultante do maior aporte de sedimentos ao ambiente, entende-se que deveria ser analisada a viabilidade, inclusive do ponto de vista ambiental, de dragar a

Lagoa das Piranhas. Segundo Salk, Steinman e Ostrom (2018) esta se constitui em uma ação para recuperação de áreas úmidas degradadas.

Além disso, tanto para acompanhar a efetividade dessa ação, caso se demonstre viável, quanto para monitorar a variação do volume da lagoa, sugere-se a instalação de uma régua limnétrica, precedida do adequado levantamento batimétrico para determinação da profundidade deste corpo hídrico.

Tendo em vista que a bacia do rio São Francisco é extensa e complexa, sendo a operação dos reservatórios no rio São Francisco um fator de alteração do regime hidrológico (MEDEIROS *et al.*, 2016), o impacto provocado pelas condições hidrológicas é relevante na variação do volume da Lagoa das Piranhas e aumenta o risco de eutrofização (WANG, LIU, ZHENG, 2013). Para as populações e usuários da bacia, a regularização de vazões além de impedir o alagamento periódico das lagoas marginais, “altera irreversivelmente estes importantes habitats e ecossistemas ribeirinhos” (CBHSF, 2015b, p. 307).

O impacto da operação de reservatórios à montante da Lagoa das Piranhas é evidente. Para Koch *et al.* (2018), que simularam algumas regras de operação no submédio e baixo São Francisco é impossível para este rio retornar ao fluxo natural, devido as atuais demandas, entretanto existe a possibilidade dos reservatórios serem operados atendendo também as demandas ecológicas e dos lagos a jusante das barragens, o que deve produzir uma melhoria nestes ecossistemas.

Para Lin *et. al.* (2020) os afluentes são os principais meios de transporte de poluentes para os ambientes lênticos. Já Machado, Knapik e Bitencourt (2019) apontam para a necessidade de ter atenção quanto a presença de fósforo em rios que alimentam reservatórios, devido ao risco de eutrofização.

Assim a composição das águas da Lagoa das Piranhas é influenciada pelo rio São Francisco e riacho das Cacimbas, o qual ainda transporta a água do dreno oriunda do Formoso A/H, este por sua vez realiza captação no rio Corrente. Conforme apresentado em seções anteriores todos estes corpos hídricos lóticos foram considerados eutróficos em uma ou mais campanhas; rio Corrente na primeira e segunda, rio São Francisco na primeira e terceira,

riacho das Cacimbas na primeira, sendo classificado como hipereutrófico na terceira.

Entende-se, portanto, como fundamental o monitoramento da qualidade das águas afluentes a Lagoa das Piranhas, permitindo a comparação entre os dados e a avaliação das melhores propostas para evitar a sua degradação (CUNHA e CALIJURI, 2010). O monitoramento também possibilita o conhecimento das atividades degradantes (BARRETO *et al.*, 2014), além de auxiliar no estabelecimento de políticas públicas, bem como informar a população (LAMPARELLI, 2004; LOPES *et al.*, 2019).

Já integram a rede de monitoramento do Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas – PNQA, os rios Corrente e São Francisco. Entretanto como este programa visa à gestão sustentável dos recursos hídricos, tendo como foco o uso múltiplo das águas da Lagoa das Piranhas, seria interessante também o seu monitoramento, bem como do riacho das Cacimbas. Ressalta-se que o Inema é responsável por executar as atividades do programa no âmbito estadual.

Ainda nesse sentido percebe-se a necessidade de controle de potenciais fontes de fósforo para a Lagoa das Piranhas, em especial a drenagem agrícola e o tratamento de esgotos do município de Bom Jesus da Lapa.

No caso da drenagem devem ser estabelecidas medidas para redução do volume gerado, o que pode demandar melhorias nos sistemas de irrigação existentes visando a sua máxima eficiência. Complementarmente, utilização de sistemas de reuso das águas de drenagem, bem como a manutenção de áreas de tratamento, como o SAC que se estabeleceu nas proximidades da passagem molhada.

Percebe-se também a necessidade de estudos do transporte de fósforo contido no solo da bacia do riacho das Cacimbas para os corpos hídricos que a compõem, visando a melhoria da qualidade das águas, por meio do estabelecimento de medidas para mitigação deste nutriente (GARCÍA NIETO *et al.*, 2019; TRENTMAN *et al.*, 2020).

Em se tratando dos esgotos domésticos é imperativa a ampliação da cobertura de sua coleta visando a universalização, bem como a instalação de unidades de tratamento terciário na ETE, além do reuso.

A Tabela 9 apresenta um resumo das propostas visando a melhoria da qualidade das águas da Lagoa das Piranhas, com indicação de possíveis responsáveis pela sua implementação contemplando usuários (agricultores, com apoio da Codevasf, quando couber, bem como o município de Bom Jesus da Lapa), órgãos gestores de recursos hídricos e meio ambiente, comitê de bacia e universidades públicas locais (Instituto Federal Baiano - IF Baiano e Universidade Federal do Oeste Baiano - UFOB).

Tabela 9 – Propostas para melhoria da qualidade das águas da Lagoa das Piranhas

Medida	Responsável
Manejo de fertilizantes	<ul style="list-style-type: none"> • Agricultores • Inema (regulação e fiscalização)
Adoção de práticas conservacionistas na bacia	<ul style="list-style-type: none"> • Agricultores • Inema (regulação e fiscalização) • CBHSF
Avaliação do tempo de residência da água na Lagoa das Piranhas	<ul style="list-style-type: none"> • CBHSF
Dragagem da Lagoa das Piranhas	<ul style="list-style-type: none"> • CBHSF
Avaliação batimétrica da lagoa e instalação de régua limnétrica	<ul style="list-style-type: none"> • CBHSF • ANA
Operação dos reservatórios do sistema hídrico do São Francisco que garanta a conservação das lagoas marginais	<ul style="list-style-type: none"> • ANA • CBHSF
Monitoramento das águas afluentes a Lagoa das Piranhas	<ul style="list-style-type: none"> • Inema • Usuários • Universidades
Redução e reuso do volume drenado das áreas agrícolas	<ul style="list-style-type: none"> • Usuários • Inema (regulação e fiscalização)
Estudo de transporte do fósforo contido na bacia	<ul style="list-style-type: none"> • Universidades • CBHSF
Ampliação da cobertura de tratamento de esgotos de Bom Jesus da Lapa, instalação de unidades de tratamento terciárias e reuso.	<ul style="list-style-type: none"> • Prefeitura de Bom Jesus da Lapa • CBHSF

É possível perceber que as propostas apresentadas vão ao encontro de objetivos estabelecidos no art. 2º da PNRH, os quais visam:

I – assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos; II- a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incluindo o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável (BRASIL, 1997).

Além disso, as propostas estão de acordo com o estabelecido no inciso IV, art. 1º da PNRH, quanto à necessidade da gestão de recursos hídricos garantir o uso múltiplo das águas (BRASIL, 1997). O principal objetivo do que foi proposto é buscar compatibilizar os usos que afetam a qualidade das águas da Lagoa das Piranhas com aqueles que por ela são afetados.

Ao propor ações como manejo de fertilizantes, monitoramento do fósforo e adoção de práticas conservacionistas na bacia, por exemplo, se pretende garantir a continuidade da prática da agricultura na região, entretanto de maneira que não prejudique o uso para abastecimento humano a partir da lagoa, ou comprometa a sua função ecossistêmica de grande relevância para o rio São Francisco.

Encontra respaldo ainda na PNRH o envolvimento de vários atores para garantir a recuperação da Lagoa das Piranhas, pois um dos fundamentos desta normativa é que a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada, contando com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades (BRASIL, 1997).

Considerando ainda a Tabela 9, outro aspecto relevante se refere aos valores arrecadados com a cobrança pelo uso de recursos hídricos, os quais devem ser prioritariamente aplicados na bacia hidrográfica na qual foram gerados e que podem financiar estudos, programas, projetos e obra incluídos nos Planos de Recursos Hídricos, conforme artigo 23 da Lei nº 9.433/97 (BRASIL, 1997).

A cobrança é um instrumento da PNRH que dentre outros, visa estimular ações para proteção, preservação e recuperação de corpos hídricos a partir de valores monetários arrecadados pelos usos de água outorgados (BRASIL, 1997). Visa ainda a implementação dos planos de recursos hídricos.

Já o plano considera a necessidade de melhoria da qualidade das águas disponíveis, reconhecendo ainda sua influência no balanço hídrico, bem como a possibilidade de serem induzidos conflitos devido a sua ausência (BRASIL, 1997). Juntamente com o plano se desenvolve a proposta de enquadramento que se propõe a melhorar a qualidade das águas considerando os usos atuais e futuros na bacia (CNRH, 2008; MACHADO, KNAPIK e BITENCOURT, 2019).

No caso específico da bacia hidrográfica do rio São Francisco, da qual faz parte a Lagoa das Piranhas, em pesquisa na página do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, verificou-se as seguintes resoluções relacionadas à cobrança pelo uso de recursos hídricos na bacia, o que demonstra que tal instrumento já vem sendo efetivado nesta região (CNRH, 2021):

- Resolução nº 108, de 13 de abril de 2010: Aprova os valores e mecanismos para cobrança pelo uso dos recursos hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco.
- Resolução nº 132, de 20 de setembro de 2011: Aprova critérios complementares para a cobrança pelo uso dos recursos hídricos externos na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco.
- Resolução nº 199, de 28 de junho de 2018: Aprova os mecanismos e valores de cobrança pelo uso de recursos hídricos de domínio da União na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco.

Já o plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio São Francisco PRH-SF (2016-2025) foi atualizado em 2015, contemplando metas para 20 anos a partir desta revisão e prevendo a utilização de recursos oriundos da cobrança pelo uso da água do rio.

Dentre os documentos que integram o referido plano se encontra o caderno de investimentos da bacia hidrográfica do rio São Francisco, cujo principal objetivo consiste na apresentação de fichas de ações do PRH-SF de responsabilidade do comitê. Neste caderno as ações estão contempladas em 6 eixos, a saber (CBHSF, 2016b):

- I. Governança e mobilização social;
- II. Qualidade da água e saneamento;

- III. Quantidade de água e usos múltiplos;
- IV. Sustentabilidade hídrica do semiárido
- V. Biodiversidade e requalificação ambiental
- VI. Uso da terra e segurança das barragens.

Considerando as intervenções propostas na Tabela 9 para melhoria da qualidade das águas da Lagoa das Piranhas, percebe-se sua aderência principalmente com o eixo II do Plano: Qualidade da Água e Saneamento, no qual estão estabelecidas as metas II. 3 e II.6, conforme definição destas na Tabela 10.

Tabela 10 – Ações do PRH-SF relativas a qualidade da água

Meta	Atividade	Ações
II.3 – Até 2025 implementar um plano integrado de investimentos em prevenção e controle de poluição das águas superficiais e subterrâneas.	Recuperação ambiental das áreas afetadas pelas atividades agrícolas e pecuárias na Bacia.	<p>Apoio a constituição de parcerias (com entidades responsáveis pelo gerenciamento de perímetros irrigados, empresas pecuárias e Codevasf)</p> <p>Acompanhamento da elaboração, e divulgação dos resultados, dos estudos de avaliação da influência da poluição difusa de origem agrícola e pecuária na qualidade das águas</p> <p>Apoio ao planejamento das intervenções destinadas a minimização de problemas de qualidade da água</p> <p>Acompanhamento da implementação das intervenções</p>
II.6 – Até 2023 servir 76% dos domicílios totais com esgotamento sanitário e atender 95% dos domicílios urbanos com celta de lixo.	Implantação de Sistemas de Esgotos, Resíduos Sólidos e Drenagem Urbana.	<p>Sensibilização (e apoio) das entidades com responsabilidades no saneamento para a necessidade de comunicar anualmente ao SNIS a informação requerida sobre as componentes de esgotamento sanitário, coleta e disposição de resíduos</p> <p>Promoção de sessões/iniciativas de articulação entre entidades, no setor do esgotamento sanitário, coleta e disposição de resíduos (concessionárias, consórcios municipais, municípios, associações de usuários)</p> <p>Apoio aos municípios na busca de recursos para desenvolvimento e implementação de projetos</p> <p>Sistematização e atualização das principais intervenções planejadas e realizadas na Bacia Hidrográfica do São Francisco nas componentes de esgotamento sanitário, destinação de resíduos e drenagem urbana.</p>

Fonte: Adaptado de CBHSF (2016b)

A capacitação de agricultores para uso e manejo de fertilizantes, que consiste em uma das ações propostas visando a melhoria da qualidade das águas da Lagoa das Piranhas, também foi contemplada no PRH-SF (2016-2025), entretanto no eixo I: Governança e mobilização social. Tem aderência com a meta I.4, que objetiva formar e/ou capacitar 10% dos atores da BHSF até 2025, atividade 1.4.a – Programa de formação e capacitação de usuários.

5.5 UTILIZAÇÃO DO ÍNDICE DO ESTADO TRÓFICO PARA CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS DE LAGOAS MARGINAIS

Ao longo deste trabalho foi demonstrado que o controle da poluição e a segurança hídrica podem ser viabilizados pela avaliação da qualidade das águas dos corpos hídricos. A partir desta avaliação é possível implementar os instrumentos estabelecidos na PNRH, favorecendo a adequada gestão dos recursos hídricos, de forma descentralizada e visando atender o uso múltiplo (ANA, 2020).

A ANA aponta em seu Portal da Qualidade das Águas que se constitui em grande desafio a avaliação da qualidade das águas brasileiras devido a vários fatores: altos custos para a logística envolvida, falta de mão-de-obra qualificada, ausência de padronização nos procedimentos de coleta e preservação das amostras, ausência de certificação em programas de acreditação, bem como a não realização de intercalibração laboratorial (ANA,2017).

A agência incentiva o uso de índices de qualidade da água, os quais segundo ela, favorecem a implementação de ações relativas ao planejamento e gestão de recursos hídricos, dando acesso à população a informações de fácil entendimento. Salienta ainda que o IET é um dos principais índices de qualidade da água utilizado no Brasil.

Autores defendem o uso do IET em virtude deste ser constituído de variáveis de fácil medição e quantificação, bem como devido à facilidade no

seu cálculo, interpretação e divulgação (BEM, BRAGA e AZEVEDO, 2013; CUNHA, CALIJURI e LAMPARELLI, 2013).

Durante a avaliação da qualidade das águas da Lagoa das Piranhas por meio deste índice, confirmou-se a facilidade na realização de seu cálculo, bem como na interpretação dos resultados, os quais serão disponibilizados aos interessados por meio de informações de fácil entendimento, atestando assim a viabilidade de seu uso visando apoiar a gestão dos recursos hídricos.

Entretanto é importante levar em consideração a realidade de municípios como Bom Jesus da Lapa e circunvizinhança que até o presente momento não possuem laboratório qualificado para análise dos parâmetros que compõem o índice, o que demanda uma logística mais complexa e onerosa para atender a critérios técnicos que garantam resultados fidedignos.

Uma alternativa aos métodos tradicionais, os quais demandam coleta de dados localmente e preservação de amostras é o sensoriamento remoto, segundo Lin *et al.* (2021). Os autores consideram-no uma tecnologia rápida e precisa, ao contrário dos métodos tradicionais que apresentam muitas limitações, que podem comprometer a quantidade de dados e consequentemente prejudicar os resultados.

A ANA (2021), gestora do portal HidroSat, que reúne informações relativas a monitoramento hidrológico por satélite, entende que o sensoriamento remoto gera economicidade, devido a redução de equipamentos e pessoas envolvidas com coletas. Salienta ainda que essa ferramenta possibilita maior acessibilidade, bem como permite a recuperação de dados de séries históricas. Dados de clorofila a, que auxiliam na avaliação da eutrofização, podem ser disponibilizados pelas estações de monitoramento por satélite.

Bouffard *et al.* (2018) também reconhecem a praticidade do sensoriamento remoto para avaliação da qualidade das águas. Para estes autores, os estudos envolvendo monitoramento devem ser realizados integrando informações obtidas a partir de dados coletados localmente com aqueles oriundos do sensoriamento remoto. Eles entendem que o uso destes métodos e de forma integrada, inclusive com técnicas de modelagem, poderia

reduzir as falhas especialmente na interpretação e apresentação dos resultados.

É possível perceber que ambos os métodos possuem limitações. Assim torna-se evidente a necessidade do pesquisador conhecer o ambiente de estudo visando a adequada interpretação dos dados obtidos. No caso de avaliação da qualidade da água é imperativo conhecer o uso e ocupação do solo da bacia.

A Lagoa das Piranhas, por exemplo, na primeira campanha teve apenas um dos cinco pontos classificados como eutrófico e o restante foi mesotrófico. Entretanto devido as características de uso e ocupação do solo da bacia, bem como considerando a identificação de indicadores de eutrofização, optou-se por manter a classificação meso a eutrófica nesta campanha e não apenas mesotrófica. Essa classificação coincide com a verificada em estudo anterior, conforme relatado na seção 5.5.6.

Nas campanhas seguintes considerou-se a classificação mesotrófica conforme resultado do IET, mas sem desprezar as condições ambientais que demonstram a necessidade de intervenções para melhoria da qualidade das águas da lagoa e controle da eutrofização. Além disso, conforme já citado na seção 5.3.6, o IET não é capaz de avaliar a produção oriunda das macrófitas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A legislação mostra que para fins de avaliação de disponibilidade hídrica, o aspecto referente a qualidade dos recursos hídricos tem tanta importância quanto sua a quantidade disponível. O Índice do Estado Trófico se constitui em uma ferramenta de avaliação da qualidade da água que pode subsidiar o processo de gestão das águas.

Entende-se que a proposta de aplicação do IET para gestão das águas de lagoas marginais visando os usos múltiplos, a partir do estudo de caso da Lagoa das Piranhas cumpriu o objetivo proposto, pois:

- Foi verificado estatisticamente que o IET da lagoa não variou entre as três campanhas realizadas. O fato de apenas um ponto, o LPI4, ter sido classificado como eutrófico na primeira campanha não foi decisivo para diferenciação entre as medianas do índice em cada campanha. Como este resultado se refere a apenas três campanhas, sendo somente uma no período chuvoso, sugere-se que estudos futuros avaliem se a medida de centralidade é mantida ou se sofre alteração em relação a momentos anteriores.
- Considera-se que o IET também não apresentou variação espacial, haja vista que mesmo o ponto LPI4 teve classificação distinta dos outros apenas na primeira campanha. Entretanto foi possível perceber diferença na concentração da clorofila a neste ponto em relação aos demais, especialmente na primeira e terceira campanhas, demonstrando uma variação espacial em relação a este parâmetro.
- Constatou-se que nem a chuva ou o volume de água da lagoa influenciaram o IET deste corpo hídrico. A carga de fósforo oriunda do dreno também não provocou alterações no índice durante as duas campanhas nas quais foi possível fazer a medição. Sugere-se que estudos futuros deem continuidade a avaliação desses fatores, bem como considerem outros demonstrados na literatura como relevantes à classificação trófica de corpos hídricos.

- O IET permitiu caracterizar as águas da Lagoa das Piranhas quanto ao seu nível trófico, considerando a biomassa algal em resposta ao aporte de nutrientes. Na primeira campanha foi considerada meso a eutrófica, enquanto na segunda e terceira, mesotrófica. Propõe-se que os trabalhos futuros incluam a avaliação do estado trófico a partir de outros índices, visando comparar os resultados obtidos a partir de cada um deles, bem como utilizando outras metodologias de forma integrada, como o sensoriamento remoto, por exemplo.
- A caracterização da lagoa obtida a partir do IET e a presença de organismos indicadores de eutrofização, demonstrou possibilidade de prejuízo aos usos múltiplos, especialmente no início do período seco, o que ensejou a apresentação de propostas para melhoria da qualidade das suas águas, as quais estão compatíveis com a legislação de recursos hídricos e podem ser incorporadas no processo de gestão deste ambiente lacustre.

REFERÊNCIAS

- ALNAHIT, A. O., MISHRA, A. K., KHAN, A. A. Quantifying climate, streamflow, and watershed control on water quality across Southeastern US watersheds. *Science of The Total Environment*, v. 739, 2020.
- AMORIM, D. G.; CAVALCANTE, P. B. S.; SOARES, L. S.; AMORIM, P. E. C. Enquadramento e avaliação do índice de qualidade da água dos igarapés Rabo de Porco e Precuá, localizados na área da Refinaria Premium I, município de Bacabeira (MA). *Eng Sanit Ambient*, Rio de Janeiro, v. 22, n. 2, p. 251-259, 2017.
- ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO. *A questão da água no Nordeste*. Brasília: CGEE, 2012a.
- _____. *Governança del agua em América Latina*. Cadernos de capacitação em Recursos Hídricos. Brasília: ANA, 2012b.
- _____. *Cadernos de Capacitação em Recursos Hídricos*. Volume 5: Plano de Recursos Hídricos e Enquadramento dos Corpos de Água. Brasília: ANA, 2013.
- _____. *Atlas Irrigação: Uso da Água na Agricultura Irrigada*. Brasília: ANA, 2017.
- _____. *Resolução nº 2.081 de 04 de dezembro de 2017*. Dispõe sobre as condições para a operação do Sistema Hídrico do Rio São Francisco, que compreende os reservatórios de Três Marias, Sobradinho, Itaparica (Luiz Gonzaga), Moxotó, Paulo Afonso I, II, III, IV e Xingó. Brasília: ANA, 2017.
- _____. *Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2018*. Brasília: ANA, 2018.
- _____. HidroWeb. Brasília, 2020. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>. Acesso em: 23 dez. 2019.
- _____. *Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2020*. Brasília: ANA, 2020.
- _____. *HidroSat – Monitoramento Hidrológico por satélite*. Brasília. 2021. Disponível em: <http://hidrosat.ana.gov.br/>. Acesso em: 24 fev. 2021.
- _____. *Portal da Qualidade das Águas*. Brasília. 2017. Disponível em: <http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-estado-trofico.aspx>. Acesso em: 08 jan. 2021.
- ARAÚJO, D. R.; MENDONÇA, A. S. F.; REIS, J. A. T. Análise de variação e comparação de índices de estado trófico: reservatórios dos aproveitamentos hidrelétricos de Rio Bonito e Suíça. *Eng Sanit Ambient*, Rio de Janeiro, v. 23, n.1, p. 55-62, 2018.
- AZAD, A.; KARAMI, H.; FARZIN, S.; MOUSAVI, S-F.; KISI, O. Modeling river water quality parameters using modified adaptive neuro fuzzy interference system. *Water Science and Engineering*, v. 12, p. 45-54, 2019.
- BAHIA. Geobahia. *Mapas interativos*. Salvador, 2019.
- BASTOS, L. *Comporta na Lagoa das Piranhas*. 2 fotografias. Bom Jesus da Lapa, 2018.

BARRETO, L. V.; FRAGA, M. S.; BARROS, F. M.; ROCHA, F. A.; AMORIM; J. S.; CARVALHO, S. R; BONOMO, P.; SILVA, D. P. Relação entre vazão e qualidade da água em uma seção de rio. *Ambi Agua*, Taubaté, v. 9, n. 1, p. 118-129, 2014.

BEM, C. C.; BRAGA, M. C. B.; AZEVEDO J. C. R. Avaliação do estado trófico de um lago urbano raso. *REGA*, Porto Alegre, v. 10, n. 1, p. 41-50, 2013.

BOUFFARD, D.; KIEFER, I.; WÜEST, A.; WUNDERLE, S.; ODERMATT, D. Are surface temperature and chlorophyll in a large deep lake related? An analysis based on satellite observations in synergy with hydrodynamic modelling and in-situ data. *Remote Sens. Environ.*, p. 510-523, 2018.

BRAGA, B.; HESPAÑHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; MIERZWA, J. C.; BARROS, M. T. L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI; N.; JULIANO, N.; EIGER, S. *Introdução à Engenharia Ambiental*. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

BRASIL. *Lei nº 9.433 de 08 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 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, DF, 1997.

BRASIL. *Lei nº 9.795 de 27 de abril de 1999*. Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. Brasília, DF, 1999.

_____. Secretaria de Políticas e Desenvolvimento Regional e Ministério da Integração Nacional. Nova delimitação do semiárido brasileiro. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2005.

_____. *Lei nº 12.787, de 11 de janeiro de 2013*. Dispõe sobre a Política Nacional de Irrigação; altera o art. 25 da Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002; revoga as Leis nos 6.662, de 25 de junho de 1979, 8.657, de 21 de maio de 1993, e os Decretos-Lei nos 2.032, de 9 de junho de 1983, e 2.369, de 11 de novembro de 1987; e dá outras providências. Brasília, DF, 2013.

BRITTO, F. B.; VASCO, A. N.; AGUIAR NETTO, A. O.; GARCIA, C. A. B.; MORAES, G. F. O.; SILVA, M. G. Surface water quality assessment of the main tributaries in the lower São Francisco River, Sergipe. *RBRH*, Porto Alegre, v. 23, 2018.

BUCCI, M. H. S; OLIVEIRA, L. F. C. Índices de Qualidade da Água e de Estado Trófico na Represa Dr. João Penido (Juiz de Fora, MG). *Ambi & Água*, Taubaté, v. 9, n. 1, p. 130-148, 2014.

BUTT, M. J; NAZEER, M. Landsat ETM + Sechhi Disc Transparency (SDT) retrieval for Rawal Lake, Pakistan. *Advances in Space Research*, v. 56, p. 1428-1440, 2015.

CALMON, A. P. S.; SOUZA, J. C.; REIS, J. A. T.; MENDONÇA, A. S. F. Uso combinado de curvas de permanência de qualidade e modelagem da autodepuração como ferramenta para suporte ao processo de enquadramento de cursos d'água superficiais. *RBRH*, Porto Alegre, v. 21, n. 1, p. 118-123, 2016.

CARLSON, R. E. *A trophic state index for lakes*. Minneapolis: Research Center University of Minnesota, 1974

CARLSON, R. E. A trophic state index for lakes, *Limnology and Oceanography*, v. 22, n. 2, p. 361-369, 1977.

CBHSF. Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. *Deliberação CBHSF nº 07, de 29 de julho de 2004*. Aprova o Plano da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. Juazeiro, 2004.

_____. *Plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio São Francisco 2016-2025: RP1A – Diagnóstico da dimensão técnica e institucional*. Belo Horizonte, 2015a.

CBHSF. *Plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio São Francisco 2016-2025: RP1B – Diagnóstico da dimensão da participação social*. Belo Horizonte, 2015b.

_____. Deliberação CBHSF nº 91, de 15 de setembro de 2016. Aprova a atualização do Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. Belo Horizonte, 2016a.

_____. *Plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio São Francisco 2016-2025: RF1 – Caderno de investimentos da bacia hidrográfica do rio São Francisco*. Belo Horizonte, 2016b.

_____. *Plano municipal de saneamento básico do município de Bom Jesus da Lapa*: Produto 2 – Diagnóstico da situação do saneamento básico. 2018.

CETESB: ANA. *Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras*. São Paulo: CETESB; Brasília, DF: ANA. 2011.

CHEN, C. W.; JU, Y. R.; CHEN, C. F.; DONG, C. D. Evaluation of organic pollution and eutrophication status of Kaohsiung Harbor, Taiwan. *International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 113, p. 318-324, 2016.

CHRISTOFIDIS, D. *Olhares sobre a Política de Recursos Hídricos no Brasil*: o caso da bacia do rio São Francisco. Brasília: Universidade de Brasília – Centro de Desenvolvimento Sustentável, 2001.

CODEVASF. Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba. *Projeto Formoso*: o percurso das águas, a direção do progresso. Brasília: CODEVASF, 2000.

_____. *Almanaque Vale do São Francisco*. Brasília: CODEVASF, 2001.

_____. *Monitoramento da qualidade de águas, sedimentos e peixes: área de influência do Perímetro Irrigado Formoso*. Bom Jesus da Lapa/BA, Relatório. 2a Superintendência Regional – Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba. Bom Jesus da Lapa, 2011.

_____. Manual Técnico de Agricultura Irrigada. Brasília: CODEVASF, 2009.

_____. Formoso A/H. Brasília, 2020. Disponível em: <https://www.codevasf.gov.br/linhas-de-negocio/irrigacao/projetos-publicos-de-irrigacao/elenco-de-projetos/em-producao/formoso-a-h>. Acesso em: 26 nov. 2020.

CONAMA. 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 outras providências. Brasília: CONAMA, 2005.

_____. *Resolução nº 396, de 3 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências*. Brasília: CONAMA, 2008.

CNRH. CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. *Resolução nº 05, de 10 de abril de 2000*. Estabelece diretrizes para a formação e funcionamento dos Comitês de Bacia Hidrográfica. Brasília: CNRH, 2000.

_____. *Resolução nº 16, de 08 de maio de 2001*. Estabelece critérios gerais para a outorga de direito de uso de recursos hídricos. Brasília: CNRH, 2001b.

_____. *Resolução nº 17, de 29 de maio 2001*. Estabelece diretrizes para a elaboração de Planos de Recursos Hídricos de Bacias Hidrográficas e dá outras providências. Brasília: CNRH, 2001a.

_____. *Resolução nº 91, de 05 de novembro de 2008*. Dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos. Brasília: CNRH, 2008.

_____. Resoluções. Brasília. Disponível em: <<https://cnrh.mdr.gov.br/resolucoes>> Acesso em: 22 fev. 2021.

COSTA, M. R. A.; ATTAYDE, J. L.; BECKER, V. Effects of water level reduction on the dynamics of phytoplankton functional groups in tropical semi-arid shallow lakes. *Hydrobiologia*, Switzerland, v. 778, p.75-89, 2016.

CUNHA, D. G. F.; FALCO, P. B.; CALIJURI, M. C. Densidade fitoplancônica e estado trófico dos rios Canha e Paríquera-Açu, bacia hidrográfica do rio Ribeira de Iguape, SP, Brasil. *Ambi Agua*, Taubaté, v. 3, n.2, p. 90-104, 2008.

CUNHA, D. G. F.; CALIJURI, M. C. Análise probabilística de ocorrência de incompatibilidade da qualidade da água com o enquadramento legal de sistemas aquáticos – estudo de caso do rio Paríquera-Açu (SP). *Eng Sanit Ambient*, Rio de Janeiro, v. 15, n. 4, p. 337-346, 2010.

CUNHA, D. G. F.; CALIJURI, M. C.; LAMPARELLI, M. C., MENEGON JR. N. *Resolução CONAMA 357/2005: análise espacial e temporal de não conformidades em rios e reservatórios do estado de São Paulo de acordo com seus enquadramentos (2005–2009)*. *Eng Sanit Ambient*, Rio de Janeiro, v. 18, n. 2, p. 159-168, 2013.

CUNHA, D. G.; CALIJURI, M. C.; LAMPARELLI, M. C. A trophic state index for tropical/subtropical reservoirs (TSI_{tsr}). *Ecological Engineering*, Naples, v. 60, p. 126-134, 2013.

DIF. DISTRITO DE IRRIGAÇÃO DE FORMOSO. *Relatórios Mensais de Operação e Manutenção – Janeiro a Dezembro de 2019*. Bom Jesus da Lapa, 2019.

DIRECTIVA QUADRO DA ÁGUA. DQA. *Diretiva 2000/60/CE* de 23 de outubro de 2000. Directiva do Parlamento Europeu e do Conselho da União Europeia. Jornal Oficial das Comunidades Europeias, 2000.

ESTEVES, F. A. (Coord). *Fundamentos da Limnologia*. Rio de Janeiro: Interciênci, 2011.

FIA, F. R. L.; MATOS, A. T.; FIA, R.; BORGES, A. C.; BAPTESTINI, G. C. F. Dinâmica do fósforo em sistemas alagados construídos tratando água resíduária da suinocultura. *Eng Sanit Ambient*, Rio de Janeiro, v. 25, n. 1, p. 79-86, 2020.

FISCHER, P.; POTHIG, B.; GUCKER, B.; VENOHR, M. Phosphorus saturation and superficial fertilizer application as key parameters to assess the risk of diffuse phosphorus losses from agricultural soils in Brazil. *Science of The Total Environment*, v. 630, p. 151-1527, 2018.

GARCÍA NIETO, P. J.; GARCÍA-GONZALO, E.; FERNÁNDEZ, A.; DÍAZ MUÑIZ, C. Water eutrophication assessment reliedon various machine learning techniques: A case study in the Englishmen Lake (Northern Spain). *Ecological Modelling*, v. 404, p. 91-102, 2019.

GODINHO, H. P.; GODINHO, A. L. (Org.). *Águas, peixes e pescadores do São Francisco das Minas Gerais*. Minas Gerais: PUC Minas, 2003.

GOMEZ, R. A. Análisis espectral del Lago de Guadalupe, mediante imágenes de satélite y datos in situ. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, Coyoacán*, n. 86, p. 15-24, 2015.

GOOGLE EARTH. 2020. 1 imagem de satélite, color. Disponível em: <https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>. Acesso em: 20 ago. 2020.

_____. 2021. 2 imagens de satélite, color. Disponível em: <https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>. Acesso em: 7 fev. 2021.

GUIMARÃES, B. O.; REIS, J. A. T.; MENDONÇA, A. S. F., AKABASSI, L. Análise probabilística de parâmetros de qualidade da água para suporte ao processo de enquadramento de cursos d'água. *Eng Sanit Ambient*, Rio de Janeiro, v. 21, n. 4, p. 807-815, 2016.

GUNKEL, G.; SELGE, F.; KEITEL, J.; LIMA, D.; CALADO, S.; SOBRAL, M.; RODRIGUEZ, M.; MATTA, E.; HINKELMANN, R.; CASPER, P.; HUPFER, M. Water management and aquatic ecosystem services of a tropical reservoir (Itaparica, São Francisco, Brazil). *Reg Environ Change*, v.18, p. 1913–1925, 2018.

IBM Corp. IBM SPSS Statistics for Windows, version 27.0, Armonk, New York, 2019.

INCRA. INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA. *Portaria nº 662, de 24 de abril de 2018*. Brasília: INCRA, 2018.

INEMA. INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. *Relatório de Monitoramento da Qualidade das Águas – Região de Planejamento e Gestão das Águas Rio Carinhanha*. Salvador, 2013.

_____. Portaria nº 9650 de 25 de abril de 2015. Salvador: INEMA, 2015a.

- _____. Portaria nº 9651 de 25 de abril de 2015. Salvador: INEMA, 2015b.
- _____. Portaria nº 12.251 de 18 de agosto de 2016. Define os procedimentos, documentos e estudos necessários para a regularização ambiental de atividades e empreendimentos agrossilvopastoris classificados como Agricultura (Agricultura de Sequeiro e Agricultura irrigada) ou Pecuária Extensiva. Salvador: INEMA, 2016.
- _____. *Plano de recursos hídricos e proposta de enquadramento dos corpos de água da RPGA do rio Corrente e riachos do Ramalho, Serra Dourada e Brejo Velho: PP2a – Nota Técnica 6 (Caracterização e disponibilidade dos recursos hídricos superficiais)*. Salvador, 2020a.
- _____. *Plano de recursos hídricos e proposta de enquadramento dos corpos de água da RPGA do rio Corrente e riachos do Ramalho, Serra Dourada e Brejo Velho: PP2a – Nota Técnica 8 (Qualidade das Águas Superficiais e Subterrâneas)*. Salvador, 2020b.
- INMET. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. *Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa*. 2020.
- JOHANNESDOTTIR, S. L.; MACURA, B., MCCONVILLE, J.; LORICK, D.; HADDAWAY, N. R.; KARCZMARCZYK, A.; EK, F.; PINIEWSKI, M.; KSIEZNIAK, M.; OSUCH, P. What evidence exists on ecotechnologies for recycling carbon and nutrients from domestic wastewater? A systematic map. *Environ Evid*, v.9, n. 24, 2020.
- KEMERICH, P. D. C.; RITTER, L. G.; DULAC, V. F.; CRUZ, R. C. Gerenciamento de recursos hídricos: desafios e potencialidades do comitê de bacia hidrográfica do rio Passo Fundo. *Soc & Nat*, Uberlândia, v. 28, n.1, p. 83-94, 2016.
- KOCH, H.; SELGE, F.; AZEVEDO, J. R. G.; SILVA, G. N. S.; SIEGMUND-SCHULTZE, M.; HATTERMANN, F. F. Reservoir operation and environmental water demand: Scenarios for the Sub-Middle and Lower São Francisco River basin, Brazil. *Ecohydrology*, v. 11, 2018.
- LAMPARELLI, M. C. *Graus de trofia em corpos d' água do estado de São Paulo. Avaliação dos métodos de monitoramento*. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
- LIMA, P. F.; SOUSA, M. S. R.; PORFIRIO, A. F.; ALMEIDA, B. S.; FREIRE, R. H. F; SANTAELLA, S. T. Preliminary analysis on the use of Trophic State Indexes in a Brazilian semiarid reservoir. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, Maringá, v.37, n. 3, 2015.
- LI, Y.; ARE, K. S.; HUANG, Z.; GUO, H.; WEI, L.; ABEGUNRIN, T. P.; GU, M.; QIN, Z. Particulate N and P exports from sugar cane growing watershed are more influenced by surface runoff than fertilization. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 302, 2020.
- LIN, S. S; SHEN, S. L.; ZHOU, A; LYU, H. M. Sustainable development and environmental restoration in Lake Erhai, China. *Journal of Cleaner Production*, v. 258, 2020.

- LIN, S. S.; SHEN, S. L.; ZHOU, A.; LYU, H. M. Assessment and management of lake eutrophication: A case study in Lake Erhai, China. *Science of The Total Environment*, v. 751, 2021.
- LONGLEY, K. R.; HUANG, W.; CLARK, C.; JOHNSON, E. Effects of nutrient load from St. Johns River on water quality and eutrophication in Lake George, Florida. *Limnologica*, German, v. 77, 2019.
- LOPES, O. F.; ROCHA, F. A.; SOUSA, L. F.; SILVA, D. M. L.; AMORIM, A. F.; GOMES, R. L.; SILVA JÚNIOR, A. L. S.; JESUS, R. M. *Influence of land use on trophic state indexes in northeast Brazilian river basins*. *Environ Monit Assess*, v. 191, 2019.
- LUZ, S. C. S.; EL-DEIR, A. C. A.; FRANCA, E. J.; SEVERI, W. Estrutura da assembléia de peixes de uma lagoa marginal desconectada do rio, no submédio Rio São Francisco, Pernambuco. *Biota Neotrop*, Campinas, v. 9, n.3, 2009.
- MACHADO, E. S.; KNAPIK, H. G. e BITENCOURT, C. C. A. Considerações sobre o processo de enquadramento de corpos de água. *Eng Sanit Ambient*, Rio de Janeiro, v. 24, n. 2, p. 261-269, 2019.
- MAIA, A. A. D; S. L. CARVALHO; F. T. CARVALHO. Comparação de dois índices de determinação do grau de trofia nas águas do Baixo Rio São José dos Dourados, São Paulo, Brasil. *Eng Sanit Ambient*, Rio de Janeiro, v. 20, n. 4, p. 613-622, 2015.
- MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. *Metodologia do trabalho científico*. 8 ed. São Paulo: Atlas, 2018.
- MEDEIROS, P. R. P.; CAVALCANTE, G. H.; BRANDINI, N.; KNOPPERS, B. A. Inter-annual variability on the water quality in the Lower São Francisco River (NE-Brazil). *Acta Limnologica Brasiliensis*, v. 28, 2016.
- OLIVEIRA, S. C.; AMARAL, R. C.; ALMEIDA, K. C. B.; PINTO, C. C. *Qualidade das águas superficiais do Médio São Francisco após a implantação dos perímetros irrigados de Gorutuba/Lagoa Grande e Jaíba*. *Eng Sanit Ambient*, Rio de Janeiro, v. 22, n. 4, p. 711-721, 2017.
- PADEDDA, B. M.; SECHI, N.; LAI, G. G.; MARIANI, M. A.; PULINA, S.; SARRIA, M.; SATTA, C. T.; VIRDI, T.; BUSCARINU, P.; LUGLIE, A. A fast-response methodological approach to assessing and managing nutrient loads in eutrophic Mediterranean reservoirs. *Ecological Engineering*, Naples, v. 85, p. 47-55, 2015.
- PADEDDA, B. M.; SECHI, N.; LAI, G. G.; MARIANI, M. A.; PULINA, S.; SARRIA, M.; SATTA, C. T.; VIRDI, T.; BUSCARINU, P.; LUGLIE, A. Consequences of eutrophication in the management of water resources in Mediterranean reservoirs: A case study of Lake Cedrino (Sardinia, Italy). *Global Ecology and Conservation*, China, v. 12, p. 21-35, 2017.
- PINHO, E. S.; ROSANOVA, C.; MATOS, F. T.; HONDA, R. T.; BUENO, G. W.; AKAMA, A. Avaliação do Índice de Estado Trófico como ferramenta para monitoramento de atividades aquáticas em reservatórios continentais. *Biotemas*, Florianópolis, v. 31, n. 4, p. 23-34, 2018.

- PIRES, D. A.; TUCCI, A.; CARVALHO, M. C.; LAMPARELLI, M. C. Water quality in four reservoirs of the metropolitan region of São Paulo, Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensis*, Rio Claro, v. 27, p. 370-380, 2015.
- RAUEN, W. B.; FERRARESI, A. C.; MARANHO, L.; OLIVEIRA, E.; COSTA, R.; ALCANTARA, J.; DZIEDZIC, M. Index-based and compliance assessment of water quality for a Brazilian subtropical reservoir. *Eng Sanit Ambient*, Rio de Janeiro, v. 23, n. 5, p. 841-848, 2018.
- REIS, G. B.; ABREU, V. O.; FRAGA, M. S.; TOZI, T.; SILVA, D. D. Proposta de enquadramento de corpos hídricos em classes de uso na bacia hidrográfica do Rio Santo Antônio (MG). *Nativa. Sinop*, Cuiabá, v. 7, n. 2, 2019.
- RIBEIRO, K. H.; FAVARETTO, N.; DIECKOW, J.; SOUZA, L. C. P.; MINELLA, J. P. G.; ALMEIDA, L.; RAMOS, M. R. Quality of surface water related to land use: a Case study in a catchment with small farms and Intensive vegetable crop production in Southern Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 38, p. 656-668, 2014.
- RIBEIRO, S. *Mapa de uso e ocupação da terra na bacia do córrego da Cacimba*. Salvador, 2020. 1 mapa.
- ROCHA, D. P. A. *Projeto Formoso: Impactos socioeconômicos e ambientais no município de Bom Jesus da Lapa-Ba*. 2016. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Urbano) – Universidade Salvador – UNIFACS, Laureate International Universities, Salvador, 2016.
- ROCHA JÚNIOR, C. A. N.; COSTA, M. R. A.; MENEZES, R. F.; ATTAYDE, J. L.; BECKER, V. Water volume reduction increases eutrophication risk in tropical semi-arid reservoirs. *Acta Limnologica Brasiliensis*, Rio Claro, v. 30, n. e106, 2018.
- SABINO, C. V. S.; LAGE, L. V.; ALMEIDA, K. C. B. Uso de métodos estatísticos robustos na análise ambiental. *Eng Sanit Ambient*, Rio de Janeiro, Ed. Especial, p. 87-94, 2014.
- SALAS, H. J.; MARTINO, P. Simplified methodologies for evaluation of eutrophication in warm-water tropical lakes. In: INTERREGIONAL SEMINAR ON WATER QUALITY MANAGEMENT IN DEVELOPING COUNTRIES, 1989, Warsaw, 1989
- SALK, K.R.; STEINMAN, A.D.; OSTROM, N.E. Wetland restoration and hydrologic reconnection result in enhanced watershed nitrogen retention and removal. *Wetlands*, v. 38, p. 349–359, 2018.
- SANTANA, E. *Quilombolas denunciam mortes de milhares de peixes em lagoa da BA*. G1, Salvador, 08 nov. 2012. Disponível em: <http://g1.globo.com/bahia/noticia/2012/11/quilombolas-denunciam-mortes-de-milhares-de-peixes-em-lagoa-da-ba.html>. Acesso em: 06 abr. 2020.
- SANTOS, J. C. N.; ANDRADE, E. M.; ARAÚJO NETO, J. R.; MEIRELES, A. C. M.; PALÁCIO, H. A. Q. Land use and trophic state dynamics in a tropical semi-arid reservoir. *Revista Ciência Agronômica*, v. 45, p. 35-44, 2014.
- SCHNEIDER, S. C.; BIBERDŽIĆ, V.; BRAHO, V.; GJORESKA, B. B.; CARA, M.; DANA, Z.; ĐURAŠKOVIĆ, P.; ERIKSEN, T. E.; HJERMANN, D.; IMERI, A.;

- JOVANOVIĆ, K.; KRIZMANIĆ, J.; KUPE, L.; LOSHKOSKA, T.; KEMP, J. L.; MARKOVIĆ, A.; PATCEVA, S.; RAKOČEVIĆ, J.; STOJANOVIĆ, K.; TALEVSKA, M.; TRAJANOVSKA, S.; TRAJANOVSKI, S.; VELJANOSKA-SARAFILOSKA, E.; VIDAKOVIĆ, D.; ZDRAVESKI, K.; ŽIVIĆ, I.; VERMAAT, J. E. Littoral eutrophication indicators are more closely related to nearshore land use than to water nutrient concentrations: A critical evaluation of stressor-response relationships. *Science of the Total Environment*, v. 748, 2020.
- SIEGMUND-SCHULTZE, M.; GOMES, E. T. A.; RODORFF, S. G. V. O que é uma boa participação pública? Conceitos, desafios e guias para reflexão. *RIBAGUA*, v. 6, n. 1, p. 111-122, 2019.
- SILVA, D. C. V. R.; QUEIROZ, L. G.; ALAMINO, D. A.; FERNANDES, J. G.; SILVA, S. C.; PAIVA, T. C. B.; POMPÉO, M. L. M. Assessment of the efficiency of a trophic state index in determining the water quality of public water supply reservoirs. *Eng Sanit Ambient*, Rio de Janeiro, v.23, n.4, p. 627-635, 2018.
- SILVINO, R. F; BARBOSA, F. A. R. Eutrophication potential of lakes: an integrated analysis of trophic state, morphometry, land occupation, and land use. *Braz. J. Biol*, v. 75, n. 3, p. 607-615, 2015.
- SOUZA, M. M; GASTALDINI, M. C. C. Avaliação da qualidade da água em bacias hidrográficas com diferentes impactos antrópicos. *Eng Sanit Ambient*, Rio de Janeiro, v. 19 n. 3, p. 263-274, 2014.
- SPERLING, M. V. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 3. ed. Minas Gerais: Editora da UFMG, 2005.
- STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, SMEWW, 22nd Ed. Washington: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, 2012.
- TEIXEIRA, A. H. C.; TAKEMURA, C. M.; LEIVAS, J. F.; PACHECO, E. P.; BAYMA-SILVA, G.; GARÇON, E. A. M. Water productivity monitoring by using geotechnological tools in contrasting social and environmental conditions: Applications in the São Francisco River basin, Brazil. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, v. 18, 2020.
- TOLEDO JR. A. P.; TALARICO, M. C.; AGUDO, S. J.; GARCIA, E. A *aplicação de modelos simplificados para a avaliação do processo de eutrofização em lagos e reservatórios tropicais*. São Paulo: CETESB, 1983.
- TORRES, C. J. F., MEDEIROS, Y. D. P., FREITAS, Y. M. D. P. Training watershed committee members to aid on the decision-making process for the execution program of the framework of water bodies. *RBRH*, Porto Alegre, v. 21, n. 2, p. 314-327, 2016.
- TRENTMAN, M. T.; TANK, J. L.; ROYER, T. V.; SPEIR, S. L.; MAHL, U. H.; SETHNA, L. R. Cover crops and precipitation influence soluble reactive phosphorus losses via tile drain discharge in an agricultural watershed. *Hydrological Processes*, v. 34, p. 4446-4458, 2020.
- TUNDISI, J. G; MATSUMURA TUNDISI, T. *Limnologia*. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

VARGAS, R. R.; BARROS, M. S.; SAAD, A. R.; ARRUDA, R. O. M; AZEVEDO, F. D. Assessment of the water quality and trophic state of the Ribeirão Guaraçau Watershed, Guarulhos (SP): a comparative analysis between rural and urban areas. *Ambi Agua, Taubaté*, v. 13, n. 2, p. 1-13, 2018.

WANG, Y.; LIU, G.; ZHAO, Z. Spatial heterogeneity of soil fertility in coastal zones: a case study of the Yellow River Delta, China. *Journal of Soils and Sediments*, 2021.

WALTON, C. R; ZAK, D.; AUDET, J.; PETERSEN, R. J.; LANGE, J.; OEHMKE, C.; WICHTMANN, W.; KREYLING, J.; GRYGORUK, M.; JABLONSKA, E.; KOTOWSKI, W.; WISNIEWSKA, M. M.; ZIEGLER, R.; HOFFMANN, C. C. Wetland buffer zones for nitrogen and phosphorus retention: Impacts of soil type, hydrology and vegetation. *Science of the Total Environment*, v. 727, 2020.

WANG L.; LIU, L.; ZHENG, B. Eutrophication development and its key regulating factors in a water-supply reservoir in North China. *Journal of Environmental Sciences*. v. 25, p. 962-970, 2013.

WIEGAND, M. C.; PIEDRA, J. I. G.; ARAÚJO, J. C. Vulnerabilidade à eutrofização de dois lagos tropicais de climas úmido (Cuba) e semiárido (Brasil). *Eng Sanit Ambient*, Rio de Janeiro, v. 21, n. 2, p. 415-424, 2016.

WIEGAND, M. C.; NASCIMENTO, A. T. P.; COSTA, A. C.; IRAN NETO, E. L. Trophic state changes of semi-arid reservoirs as a function of the hydro-climatic variability. *Journal of Arid Environments*, v. 184, 2021.

YAN, D.; XU, H.; LAN, J.; YANG, M.; WANG, F.; HOU, W.; ZHOU, K.; NA, Z. Warming favors subtropical lake cyanobacterial biomass increasing. *Science of The Total Environment*, v. 726, 2020.

ZHANG, Y.; SONG. C.; JI. L.; LIU. Y.; XIAO, J.; CAO, X; ZHOU, Y. Cause and effect of N/P ratio decline with eutrophication aggravation in shallow lakes. *Science of The Total Environment*, v. 627, p. 1294-1302, 2018.

APÊNDICE A – Relatório Técnico



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
MESTRADO PROFISSIONAL EM REDE NACIONAL EM GESTÃO
E REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS**

IZIS DE OLIVEIRA ALVES

**AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DO ESTADO TRÓFICO DA LAGOA
DAS PIRANHAS**

Relatório técnico apresentado ao Programa de Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua da Universidade Federal da Bahia, juntamente com a dissertação, como requisito para obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

Orientadora: Adriana Costa Ferreira

Salvador

2021

AGRADECIMENTOS

Ao meu Deus, que me deu a vida, a força e tudo que preciso para enfrentar cada desafio.

Aos meus pais, que sempre me inspiraram e sonham cada sonho comigo.

Ao meu esposo, por todo cuidado, cumplicidade e compreensão.

Aos meus irmãos e sobrinhos, pelo incentivo.

Às minhas amigas Raquel, Valdirene e Luciana, pelo apoio.

À Harley, João e Edson, pela oportunidade que me foi dada.

À Thiara, Manoel, Sérgio, Maurício, Laysa, Antônio Carlos Carvalho, Albeni, Cleomenes, Alexandre, Ricardo, Renato, Sebastião, Ubirajara, Paulo, Isabel e Edson Vieira, que foram muito mais do que colegas da Codevasf. Este trabalho só foi possível por causa da colaboração de cada um de vocês.

À Enderson, gerente do Distrito de Irrigação Formoso e a toda sua equipe, pelo apoio na logística e na viabilização das análises.

À Marta Lamparelli, por esclarecer cada dúvida de forma tão solidária.

À Mário do Inema, por todo o incentivo.

Aos professores Yvonilde e Jaildo do ProfÁgua/UFBA, bem como Jorge da UFOB, por serem tão solícitos a cada demanda.

Ao seu Miguel, que além de conduzir o barco para as coletas me ajudou a entender um pouco mais sobre o rio São Francisco e a Lagoa das Piranhas.

À professora Adriana, que aceitou o desafio de me orientar e o fez de forma tão generosa.

Aos professores Ícaro e Sylvana, que me incentivaram a transcender em muitos aspectos na minha pesquisa.

Ao pessoal do LABDEA e do LEPETRO, especialmente Ednilze, Isadora, Larissa e Sarah.

Aos meus colegas, todos os professores e colaboradores do ProfÁgua/UFBA.

Ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE Nº. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

RESUMO

A avaliação da disponibilidade hídrica deve contemplar tanto o aspecto quantitativo quanto o qualitativo. Em termos de qualidade das águas, a diversidade de parâmetros muitas vezes prejudica o monitoramento e consequentemente a adoção de medidas eficazes para redução de fontes poluidoras. Existe, portanto, a necessidade de utilização de ferramentas que demandem dados mais simples e ao mesmo tempo forneçam informações que possibilitem o fácil entendimento acerca da situação dos corpos hídricos e subsiditem o processo de gestão das águas. Neste sentido, apresenta-se o Índice do Estado Trófico (IET), uma metodologia que visa avaliar a ocorrência de eutrofização nas águas e consequentemente os prejuízos aos usos múltiplos, a partir da determinação de dois parâmetros: clorofila *a* e fósforo total. No presente trabalho foi aplicado o IET aprimorado por Lamparelli (2004) para ambientes tropicais, na avaliação da Lagoa das Piranhas, uma lagoa marginal do rio São Francisco, por meio de três campanhas amostrais, sendo duas no período seco e uma no período chuvoso. A lagoa foi classificada como meso a eutrófica em uma das campanhas do período seco e mesotrófica nas seguintes, dando indícios de prejuízo aos usos múltiplos. Os corpos hídricos que a alimentam foram classificados em níveis tróficos superiores, o que pode acelerar o processo de eutrofização nesta lagoa, comprometendo não somente a sua função social e ecossistêmica, mas a sua própria sobrevivência. Ao final deste relatório técnico são apresentadas propostas de intervenções para melhoria da qualidade das águas da Lagoa das Piranhas, a serem apresentadas aos usuários, poder público e comitês de bacias, as quais tem respaldo da Política Nacional de Recursos Hídricos.

Palavras-chave: Lagoa das Piranhas. Eutrofização. Índice do Estado Trófico.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Classes do Índice do Estado Trófico.....	8
Figura 2 – Lagoa das Piranhas, Bom Jesus da Lapa-BA	10
Figura 3 – Bacia Hidrográfica do riacho das Cacimbas	11
Figura 4 – Localização da comunidade	12
Figura 5 - Vista frontal da comporta	12
Figura 6 – Localização dos pontos de monitoramento.....	14
Figura 7 – Precipitação no período de estudo	16
Figura 8 – Variação da cota da margem da Lagoa das Piranhas	18
Figura 9 – Vazão do dreno do Formoso A/H nas 2 primeiras campanhas	19
Figura 10 – Distribuição da chuva e vazão no dreno	19
Figura 11 – Passagem Molhada	21
Figura 12 – Volume de água no dreno do Projeto Formoso	21
Figura 13 – Volume de água no riacho das Cacimbas próximo a foz observado na 2 ^a campanha	22
Figura 14 – Volume de água no riacho das Cacimbas próximo a foz observado na 3 ^a campanha	22
Figura 15 – Variação do IET durante o estudo	24
Figura 16 – Variação da concentração de fósforo total nas 3 campanhas	25
Figura 17 – Concentração de fósforo total na área de estudo na terceira campanha ..	26
Figura 18 – Variação da concentração de clorofila a nas três campanhas nos ambientes lóticos e na lagoa	27
Figura 19 – Variação de clorofila a e fósforo total no Rio Corrente	28
Figura 20 – Variação de clorofila a e fósforo total no Dreno	29
Figura 21 – Localização da passagem molhada.....	30
Figura 22 – Variação de clorofila a e fósforo total na passagem molhada.	31
Figura 23 – Variação de clorofila a e fósforo total na foz do riacho das Cacimbas.....	32
Figura 24 – Variação de clorofila a e fósforo total no rio São Francisco	33
Figura 25 – Variação de clorofila a e fósforo total na Lagoa das Piranhas.....	35

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Concentração de fósforo total, clorofila a e resultado do IET	23
Quadro 2 – Concentração de clorofila a ($\mu\text{g.L}^{-1}$) na Lagoa das Piranhas.....	35
Quadro 3 – Situação dos pontos amostrais da Lagoa das Piranhas.....	37
Quadro 4 – Classificação do IET para rios	52
Quadro 5 – Classificação do IET para reservatórios.....	52
Quadro 6 – Categorias do estado trófico.	53
Quadro 7 – Valores máximos permitidos na Resolução CONAMA nº 357/05 para os parâmetros que compõem o IET	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Descrição dos pontos do monitoramento	15
Tabela 2 – Metodologia	15
Tabela 3 – Propostas para melhoria da qualidade das águas da Lagoa das Piranhas	41
Tabela 4 – Ações do PRH-SF relativas a qualidade da água.....	43

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANA	Agência Nacional das Águas
BHSF	Bacia Hidrográfica do rio São Francisco
CBHSF	Comitê de Bacia Hidrográfica do rio São Francisco
Cetesb	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
Cl a	Clorofila a
Codevasf	Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba
Conama	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
DBO	Demanda bioquímica de oxigênio
DQO	Demanda química de oxigênio
DIF	Distrito de Irrigação Formoso
ETE	Estação de tratamento de efluentes
FORMOSO A/H	Projeto Público de Irrigação Formoso A/H
Geobahia	Sistema de dados geográficos do estado da Bahia
IET	Índice do Estado Trófico
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
INEMA	Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos.
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IF Baiano	Instituto Federal Baiano
LABDEA	Laboratório de Físico-Química do Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Federal da Bahia.
LAT/LONG	Latitude e Longitude
LD	Limite de detecção
LEPETRO	Laboratório de Petróleo do Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia.
LN	Logaritmo natural
LQ	Limite de quantificação
PNQA	Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PRH-SF	Plano de Recursos Hídricos do rio São Francisco
ProfÁgua	Programa de Pós Graduação em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos
P_{total}	Fósforo total
RPGA	Região de Planejamento das Águas
SAC	Sistema Alagado Construído
SMEWW	<i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</i>
UFBA	Universidade Federal da Bahia
UFOB	Universidade Federal do Oeste Baiano

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. DESENVOLVIMENTO	9
2.1. ÁREA DE ESTUDO.....	9
2.2. METODOLOGIA	13
2.3. RESULTADOS.....	16
2.3.1. Volume de chuva	16
2.3.2. Nível de água da Lagoa das Piranhas.....	17
2.3.3. Vazão do dreno do Projeto Público de Irrigação Formoso A/H e respectiva carga de fósforo total	18
2.3.4. Avaliação do Índice do Estado Trófico.....	23
2.3.5. Avaliação dos ambientes do estudo	27
a) Rio Corrente (RC00).....	27
b) Dreno do Formoso (RCA1)	28
c) Riacho das Cacimbas no trecho da passagem molhada (RCA3).....	30
d) Riacho das Cacimbas na região da sua foz (RCA4).....	31
e) Rio São Francisco (RSF0)	32
f) Lagoa das Piranhas (LPI1, LPI2, LPI3, LPI4 e LPI5)	34
2.3.6. Proposta para melhoria da qualidade das águas da Lagoa das Piranhas	37
2.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	44
REFERÊNCIAS	45
APENDICE A – Índice do Estado Trófico	51

1. INTRODUÇÃO

O Índice do Estado Trófico (IET) é uma ferramenta que vem sendo utilizada em várias partes do Brasil para avaliação do grau de eutrofização dos corpos hídricos a partir de duas variáveis: fósforo total e clorofila a.

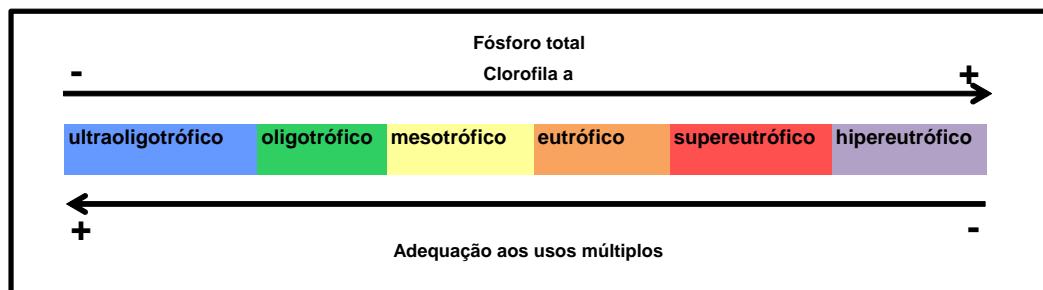
A eutrofização é um tipo de poluição, resultante das atividades antrópicas que tem afetado diversos corpos hídricos ao redor do mundo. Os principais impactos que vem sendo observados referem-se a alteração da cor, sabor e odor da água, bem como redução do oxigênio dissolvido na massa d'água que pode provocar a alteração da biodiversidade a até a morte de peixes e outros seres vivos.

Assim os resultados obtidos a partir do IET possibilitam a identificação das fontes poluidoras e podem contribuir para a adequada gestão dos recursos hídricos, possibilitando atender aos usos múltiplos conforme estabelecido nos fundamentos da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída pela Lei nº 9.433 de 08 de janeiro de 1997.

A metodologia de determinação do IET aprimorada por Lamparelli (2004) para ambientes tropicais utiliza-se de equações entre as variáveis fósforo total e clorofila a. O fósforo é limitante da atividade primária, o que implica dizer que o seu excesso no ecossistema aquático provoca um desequilíbrio, com consequente proliferação do fitoplâncton e de macrófitas aquáticas, que contêm clorofila a em sua estrutura (BEM, BRAGA e AZEVEDO, 2013; CHEN *et al.*, 2016; PINHO *et al.*, 2018).

Os resultados do IET possibilitam classificar os corpos hídricos em 6 estados tróficos: ultraoligotrófico, oligotrófico, mesotrófico, eutrófico, supereutrófico e hipereutrófico. À medida que aumenta o nível trófico, são observadas maiores concentrações de nutriente (fósforo total) e produtividade primária (clorofila a) e consequentemente maiores riscos aos usos múltiplos, conforme pode ser observado na Figura 1.

Figura 1 – Classes do Índice do Estado Trófico



Fonte: Adaptado de Lamparelli (2004)

Levantamentos realizados no rio São Francisco e em seus afluentes tem demonstrado que as atividades desenvolvidas na bacia vem alterando o estado trófico destes corpos hídricos. Por se relacionarem com corpos hídricos lênticos existentes na bacia, como reservatórios e lagoas marginais, os rios podem induzir o processo de eutrofização nestes ambientes, a partir do transporte de nutrientes.

O presente relatório apresenta os resultados obtidos por meio de três campanhas, duas no período seco e uma no chuvoso, do IET da Lagoa das Piranhas, uma lagoa marginal do rio São Francisco, localizada no município de Bom Jesus da Lapa. Apresenta ainda os resultados do IET de outros corpos hídricos localizados no interior e no entorno da microbacia do riacho das Cacimbas, cuja foz é a Lagoa das Piranhas.

Além do estado trófico dos corpos hídricos, ao longo das três campanhas foi feita análise da precipitação pluviométrica na região, da vazão do dreno do Projeto Público de Irrigação Formoso A/H e respectiva carga de fósforo, bem como da cota topográfica da margem da Lagoa das Piranhas, a fim de verificar qual a influência destes nos IET obtidos.

As informações contidas neste relatório, vinculado ao Trabalho de Conclusão de Curso do Programa de Pós Graduação em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (ProfÁgua) do Pólo da Universidade Federal da Bahia (UFBA) poderão ser compartilhadas com os órgãos gestores de meio ambiente e recursos hídricos, usuários dos recursos hídricos, bem como com os Comitês de bacias do rio Corrente e do rio São Francisco.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. ÁREA DE ESTUDO

A Lagoa das Piranhas integra a bacia hidrográfica do rio São Francisco, que é a 3^a maior em extensão no Brasil, dividindo-se para fins de gestão em 4 regiões: Alto, Médio, Submédio e Baixo São Francisco.

Esta lagoa localiza-se no município de Bom Jesus da Lapa - BA, pertencente à região do Médio São Francisco que compreende, dentre outras, a bacia do rio Corrente. Juntamente com o Alto, o Médio São Francisco possui as vazões mais representativas da bacia, em torno de 88%.

As lagoas marginais, como a Lagoa das Piranhas, são importantes habitats para a reprodução, alimentação e refúgio dos peixes, tendo de forma mais intensa o ciclo de nutrientes e a produtividade primária, disponibilizando, de forma abundante, recursos alimentares para as fases iniciais de desenvolvimento de peixes.

A Lagoa das Piranhas se formou à margem esquerda do rio São Francisco e no período chuvoso transforma-se em um único ambiente com a unidade fluvial. Apresenta uma superfície de inundação da ordem de 150 ha quando em período de cheia e formato alongado com aproximadamente 5 km de extensão (Figura 2).

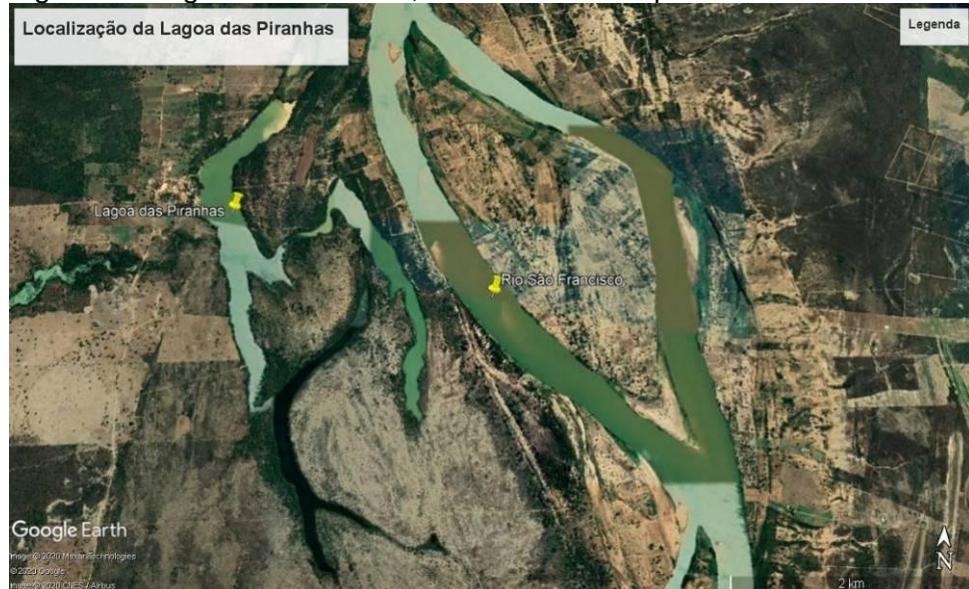
Integra a bacia hidrográfica do córrego das Cacimbas (Figura 3), com ocupação predominantemente agrícola, mas também recebe água do rio Corrente, a partir do sistema de drenagem do Projeto Público de Irrigação Formoso, etapas A/H, implantado pela Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (Codevasf).

A operação do Projeto, cuja captação de água no rio Corrente foi outorgada pelo Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (Inema) para uma vazão total de 1.128.240 m³/dia, por um período de 20 horas de bombeamento, perenizou o córrego das Cacimbas que antes era intermitente. Nesse sentido Rocha (2016), destaca:

A construção e revitalização dos drenos do Projeto Formoso, aliadas a uma maior quantidade de água na área, resultaram no aumento da vazão do riacho das Cacimbas [...] e, consequentemente, do nível da Lagoa das Piranhas, a qual,

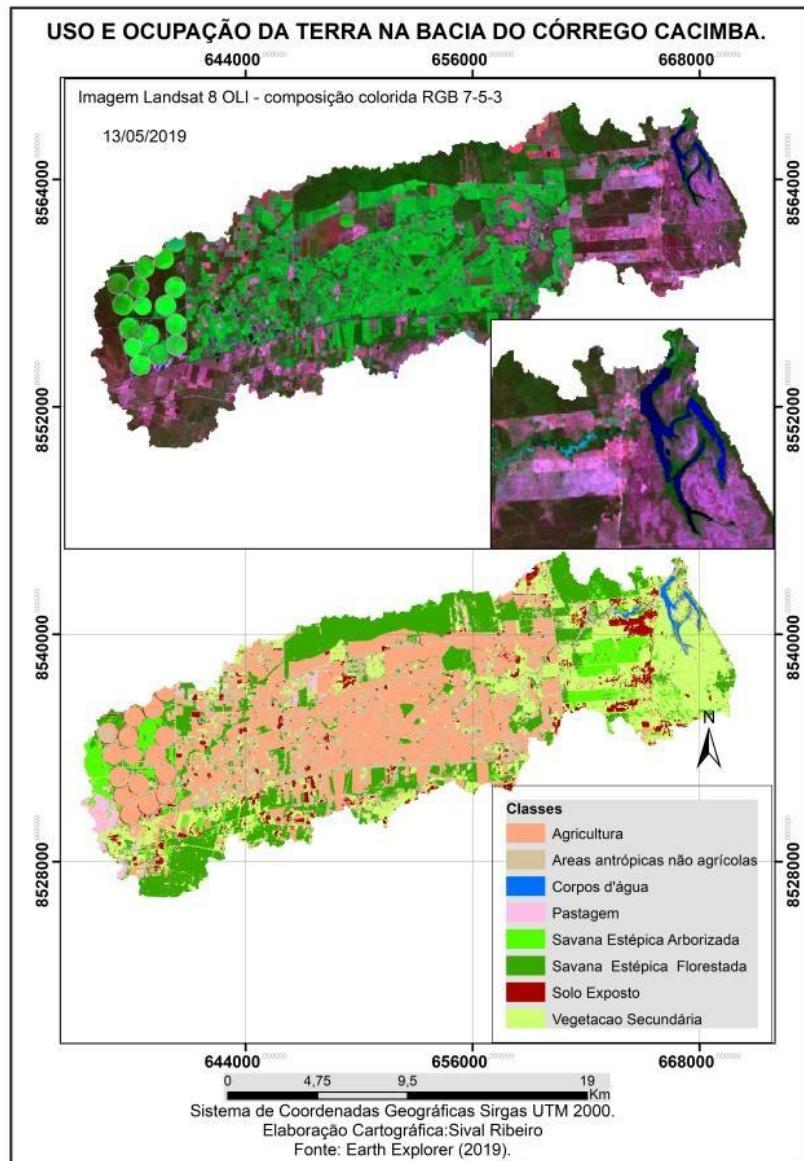
mesmo com as crescentes e constantes secas e a baixa do nível do São Francisco, continua abastecida e com alimentação constante durante todo o ano (ROCHA, 2016, p. 180).

Figura 2 – Lagoa das Piranhas, Bom Jesus da Lapa-BA



Fonte. Google Earth (2020)

Figura 3 – Bacia Hidrográfica do riacho das Cacimbas



Fonte: Ribeiro (2020)

Na margem esquerda da Lagoa das Piranhas, se estabeleceu uma comunidade (Figura 4) cujo território ocupado foi reconhecido pela Portaria do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) nº 662 de 24 de abril de 2018 como “terras da Comunidade Remanescente de Quilombo de Lagoa das Piranhas” (INCRA, 2018). Essa comunidade é composta por aproximadamente 109 famílias e as principais atividades econômicas desenvolvidas dependem da lagoa, como a pesca artesanal e a agricultura de subsistência.

Figura 4 – Localização da comunidade



Fonte: Google Earth (2021)

Embora a comunidade utilize a água da lagoa para consumo humano após tratamento, este manancial também serve para dessedentação animal e lavagem de utensílios e roupas. Na Lagoa não existe qualquer barreira que impeça o acesso de animais, a qual também é utilizada para o lazer de moradores de diversas localidades do município de Bom Jesus da Lapa.

A população do seu entorno é responsável pelo controle manual de uma comporta instalada na porção norte do canal que interliga com o rio São Francisco, cujo objetivo é evitar que a lagoa esvazie no período de seca (Figura 5).

Figura 5 - Vista frontal da comporta



Fonte: Bastos (2018)

A comunidade quilombola atribui a responsabilidade pela degradação da qualidade da água da lagoa, inclusive com denúncias que foram noticiadas pela imprensa local ao Formoso A/H (SANTANA, 2012).

2.2. METODOLOGIA

Foi prevista a realização de quatro campanhas amostrais, sendo duas no período seco e duas no chuvoso. Esse quantitativo foi estabelecido em virtude da distância entre o município de Bom Jesus da Lapa, onde foram realizadas as coletas das amostras de água e Salvador, onde foram realizadas as análises. Além disso, a logística para garantir que as amostras fossem coletadas e chegassem nas condições adequadas para análise foi bastante complexa, envolvendo diversas pessoas e meios de transportes distintos. A quarta campanha prevista para ocorrer em abril de 2020 não foi realizada em virtude da pandemia da COVID-19.

Concomitantemente com a definição das campanhas amostrais, considerando a hidrografia local disponibilizada pelo Governo do Estado da Bahia, por meio do seu sistema de informações geográficas, Geobahia, foram definidos os pontos de monitoramento, os quais estão demonstrados na Figura 6 por meio dos códigos a eles atribuídos.

O ponto RCAO correspondente ao riacho das Cacimbas antes de entrar no Projeto Formoso A/H e o ponto RCA2 que consiste em um afluente ao riacho das Cacimbas, estiveram secos durante as 3 campanhas de monitoramento.

A descrição de cada um dos pontos com seus respectivos códigos e coordenadas está apresentada na Tabela 1. Um resumo contendo as principais informações relativas as etapas subseqüentes da metodologia empregada se encontra apresentado na Tabela 2.

Figura 6 – Localização dos pontos de monitoramento



Fonte: Google Earth (2021)

Tabela 1 – Descrição dos pontos do monitoramento

Código do Ponto	Localização	Coordenadas
RC00	Rio Corrente, que abastece o Projeto Público de Irrigação Formoso A/H	13°11'05.2"S 43°38'45.4"O
RCA0	Riacho das Cacimbas, à montante do Projeto Público de Irrigação Formoso A/H	13°16'31.0"S 43°39'22.1"O
RCA1	Dreno do Projeto Público de Irrigação Formoso A/H A/H – Intermediário	13°12'45.1"S 43°31'28.2"O
RCA2	Riacho que aflui ao Cacimba	13°11'23.2"S 43°32'18.6"O
RCA3	Riacho das Cacimbas - Passagem Molhada	13°11'21.0"S 43°28'21.8"O
RCA4	Foz do riacho das Cacimbas	13°11'11.6"S 43°28'03.3"O
LPI1	Lagoa das Piranhas – próximo a foz do riacho das Cacimbas	13°11'08.8"S 43°27'57.1"O
LPI2	Lagoa das Piranhas – próximo a estação de tratamento de água	13°10'58.2"S 43°28'03.9"O
LPI3	Lagoa das Piranhas – próximo ao canal que liga ao rio São Francisco	13°10'28.6"S 43°27'44.3"O
LPI4	Lagoa das Piranhas (Braço das cajazeiras)	13°11'03.7"S 43°27'17.7"O
LPI5	Lagoa das Piranhas (Mandim)	13°12'14.5"S 43°27'32.8"O
RSF0	Rio São Francisco	13°10'57.6"S 43°27'04.9"O

Tabela 2 – Metodologia

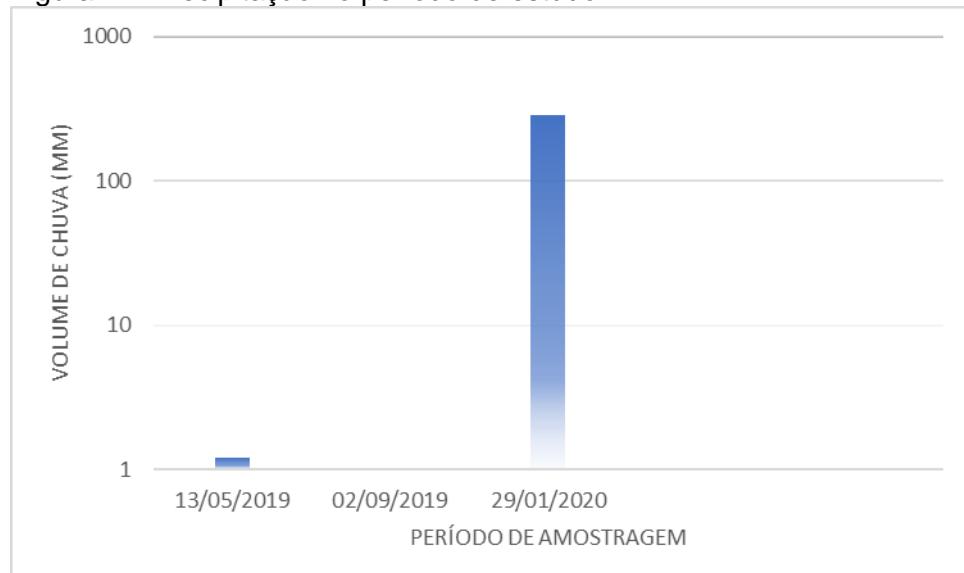
Etapa	Resumo
Coleta e armazenamento	<ul style="list-style-type: none"> • Coleta superficial / Refrigeração / Envio BLJ-SSA – 24h
Métodos analíticos	<ul style="list-style-type: none"> • Método do Ácido Ascórbico 4500 P / Fósforo Total (mg.L^{-1}) • Método Tricromático (clorofila a, b e c) SM 10200 – H / Clorofila a ($\mu\text{g.L}^{-1}$) • (SMSMEWW, 2012)
Índice do estado trófico	<ul style="list-style-type: none"> • Metodologia Lamparelli (2004) – Informações detalhadas no Apêndice A
Precipitação pluviométrica	<ul style="list-style-type: none"> • Estação meteorológica de superfície automática de Bom Jesus da Lapa, código A418, do INMET • Estação da CPRM, código nº 01343019 (dados históricos de 2020)
Determinação da carga de fósforo do dreno do Projeto Formoso	<ul style="list-style-type: none"> • Medição de vazão: Medidor hidromecânico – molinete e trena • Cálculo da carga
Nível da Lagoa	<ul style="list-style-type: none"> • Medição topográfica com GPS geodésico da cota do ponto no solo onde a água da lagoa chega
Tratamento dos dados	<ul style="list-style-type: none"> • Planilha Excel • Testes estatísticos – Software SPSS Statistics

2.3. RESULTADOS

2.3.1. Volume de chuva

As chuvas acumuladas no período de 30 dias antes da realização de cada uma das três amostragens estão demonstradas no gráfico da Figura 7.

Figura 7 – Precipitação no período de estudo



Fonte: Adaptado de INMET (2019)

A chuva acumulada na primeira campanha foi da ordem de 1,2 mm, na segunda foi nula e na terceira foi de 283,8mm. É possível afirmar que as duas primeiras campanhas correspondem ao período seco e a terceira ao período chuvoso.

Foi realizada avaliação da pluviosidade na região entre os anos de 2010 e 2020, concluindo-se que as campanhas que subsidiaram a presente pesquisa foram realizadas nos anos considerados mais seco (2019) e chuvoso (2020) deste período. Trata-se, portanto, de momentos extremos no que se refere a pluviometria deste intervalo de pouco mais de uma década.

A avaliação da precipitação se faz necessária, pois vem sendo demonstrado que corpos hídricos lênticos localizados na região semiárida podem reter mais nutrientes e consequentemente estar mais suscetíveis eutrofização em função da redução do seu volume devido à baixa precipitação e alta evaporação, com consequentemente aumento no tempo de detenção das águas em seu interior (AMORIM *et al.*, 2017; ANA, 2012; WIEGAND, PIEDRA e ARAÚJO, 2016).

Além disso, a baixa precipitação também influencia nas vazões dos corpos hídricos que alimentam os ambientes lênticos (MEDEIROS *et al.*, 2016)

2.3.2. Nível de água da Lagoa das Piranhas

No período seco a comporta localizada na ligação com o rio São Francisco permanece fechada, devido a cota do fundo da Lagoa das Piranhas ser superior à do rio, o que implicaria em seu esvaziamento caso este dispositivo não tivesse sido instalado, segundo informações dos moradores do seu entorno. Neste período a manutenção de seu volume é garantida principalmente pelas águas do sistema de drenagem do Projeto Público de Irrigação Formoso A/H.

O objetivo era avaliar o nível de água por meio de régua limmétrica, o que não possível. Assim foi realizada medição da cota do ponto do solo onde a água da lagoa chega. Nas primeira e segunda campanhas (período seco) esta cota foi de 421,5 m e 420,7 m, respectivamente. Na terceira campanha, a comporta estava aberta, condição na qual ela permanece durante todo o período chuvoso para permitir a renovação das águas da lagoa em virtude da cheia do rio. A medição nesta campanha foi de 422,0 m, conforme se observa na Figura 8.

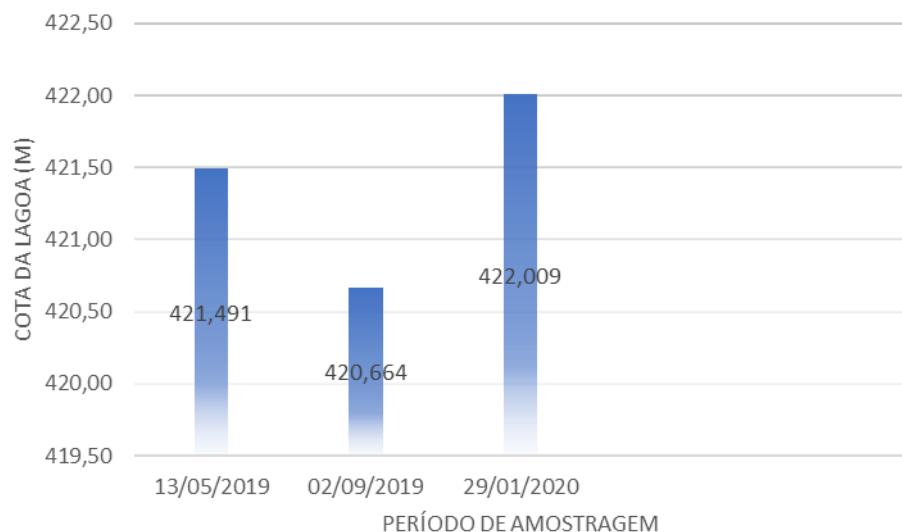
Considerando que a medição realizada foi uma forma indireta de avaliar a redução ou aumento do volume da lagoa, o qual varia em função da altura da lâmina d'água, é possível afirmar que o maior volume ocorreu em janeiro de 2020 (período chuvoso), quando também havia possibilidade de troca entre as águas armazenadas em seu interior e as oriundas do rio São Francisco, que influencia dentre outros no tempo de detenção e na capacidade de diluição deste corpo hídrico.

Existe uma relação entre a profundidade de um corpo hídrico e a classificação do seu estado trófico; quanto mais raso, maior disponibilidade de luz e nutrientes para o fitoplâncton com conseqüente aumento do estado trófico. Além disso, lagos mais profundos tem mais chance de perenidade

ante as estiagens prolongadas (SPERLING apud SPERLING, 2005; COSTA, ATTAYDE e BECKER, 2016; GODINHO e GODINHO, 2003).

A perenidade da Lagoa das Piranhas, segundo informações dos moradores, vem sendo garantida pela operação da mencionada comporta manual.

Figura 8 – Variação da cota da margem da Lagoa das Piranhas

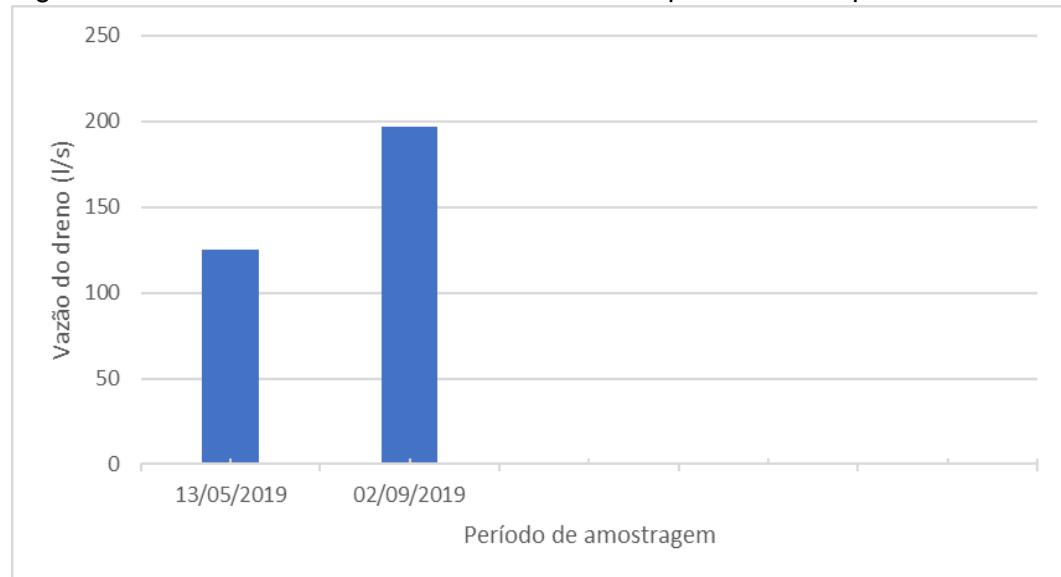


2.3.3. Vazão do dreno do Projeto Público de Irrigação Formoso A/H e respectiva carga de fósforo total

Na primeira campanha a vazão medida no dreno do Projeto Público de Irrigação Formoso A/H foi de 124,8 L/s, inferior à medida na segunda campanha que foi de 196,8 L/s. O gráfico da Figura 9 demonstra a variação da vazão nestas duas campanhas.

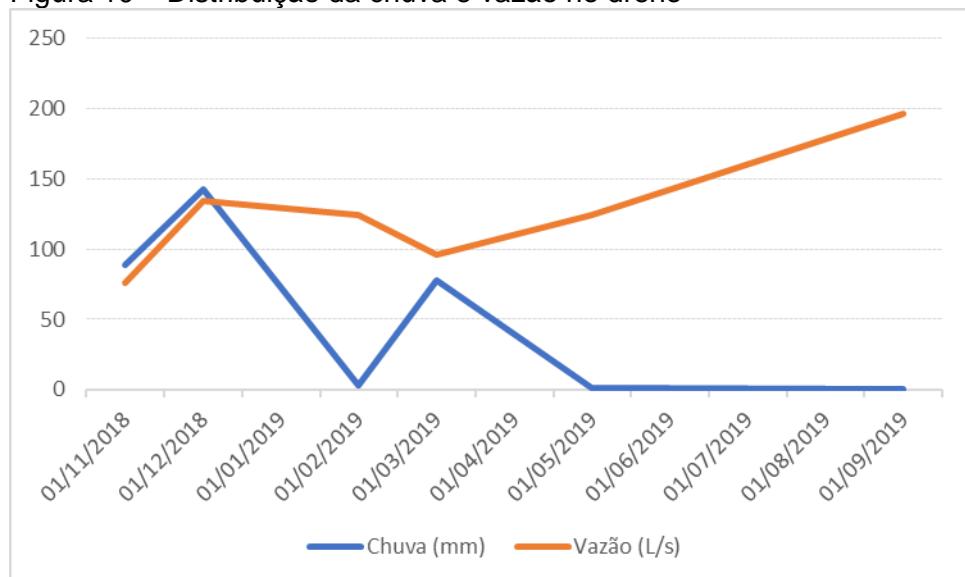
Considerando-se os dados de vazão e de concentração de fósforo total neste ponto, igual a $0,10 \text{ mg.L}^{-1}$ nas duas primeiras campanhas, foram obtidas as cargas relativas a este nutriente na primeira e segunda campanhas: 1,1 kg P_{total}/dia e 1,7 kg P_{total}/dia, respectivamente.

Figura 9 – Vazão do dreno do Formoso A/H nas 2 primeiras campanhas



As altas chuvas que ocorreram na terceira campanha, desconfiguraram o canal do dreno, impossibilitando a medição da vazão. Considerando a função do sistema de drenagem de remover o excesso de água tanto da superfície como do perfil do solo, o que inclui o transporte de chuvas excessivas, foi analisada a correlação existente entre a chuva na região e a vazão no dreno. Por meio de dados de vazão obtidos em medições anteriores, realizadas pelo hidrólogo da Codevasf e a partir das medições da primeira e segunda campanhas foi construído o gráfico da Figura 10, relacionando estes com as chuvas ocorridas nos períodos correspondentes.

Figura 10 – Distribuição da chuva e vazão no dreno



É possível verificar comportamento distinto entre vazão e chuva, o que permite inferir que durante as medições realizadas, o dreno estaria sendo alimentado pela água armazenada no solo. Por meio de análise estatística, a partir do coeficiente de correlação de Kendall, foi demonstrada uma correlação moderada negativa entre as variáveis, igual a 0,467.

A partir desta análise conclui-se que não seria apropriado determinar a vazão do dreno na 3^a campanha a partir dos dados de pluviometria disponíveis para o período. Por isto não foi possível utilizar este dado para comparar com os obtidos nas campanhas anteriores e nem analisar possível relação com o IET.

Embora o Formoso A/H não constitua a área total da microbacia do riacho das Cacimbas onde se pratica a agricultura, havendo outros empreendimentos que exercem a mesma atividade e cuja drenagem tem como exultório a Lagoa das Piranhas, objetivava-se avaliar uma possível relação entre a concentração do fósforo neste corpo hídrico e a operação do Projeto.

É preciso considerar ainda que na segunda campanha boa parte da água do dreno (riacho das Cacimbas) ficou retida em uma passagem molhada (Figura 11), localizada no curso do riacho da Cacimba, entre o Formoso A/H e a Lagoa das Piranhas. Conclui-se que a carga de fósforo oriunda do Projeto, medida no dreno (Figura 12) não estava chegando com a mesma intensidade na foz do riacho (Figura 13).

Figura 11 – Passagem Molhada



Figura 12 – Volume de água no dreno do Projeto Formoso



Figura 13 – Volume de água no riacho das Cacimbas próximo a foz observado na 2^a campanha



Na terceira campanha (Figura 14), apesar da impossibilidade em se medir a vazão do dreno foi verificado um grande volume de água na foz do riacho das Cacimbas, o que é comum no período chuvoso, havendo uma gradativa redução ao longo dos meses.

Figura 14 – Volume de água no riacho das Cacimbas próximo a foz observado na 3^a campanha



2.3.4. Avaliação do Índice do Estado Trófico

Os resultados obtidos para as análises da clorofila a e fósforo total, bem os respectivos Índices do Estado Trófico de cada ponto do estudo estão apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Concentração de fósforo total, clorofila a e resultado do IET

Ambiente	Pontos	Código	1ª Campanha – Seca			2ª Campanha – Seca			3ª Campanha – Chuvosa		
			(P _{total})	(Cl a)	IET	(P _{total})	(Cl a)	IET	(P _{total})	(Cl a)	IET
Lótico	Rio Corrente	RCO0	0,10	3,89	60	0,10	3,61	60	0,12	2,28	58
	Dreno do Formoso	RCA1	0,10	2,00	57	0,10	2,00	57	0,16	2,19	59
	Passagem Molhada	RCA3	0,13	6,29	63	0,11	3,00	59	0,10	26,87	69
	Riacho da Cacimba	RCA4	0,11	2,74	59	0,10	3,21	59	0,10	28,81	69
	Rio São Francisco	RSF0	0,11	6,36	62	0,10	3,06	59	0,10	4,42	61
Lêntico	Lagoa pós Cacimba	LPI1	0,10	3,24	57	0,10	3,44	58	0,10	6,17	59
	ETA	LPI2	0,10	2,88	57	0,10	4,21	58	0,10	5,22	59
	Saída para o rio	LPI3	0,10	2,63	57	0,10	3,09	57	0,10	6,80	59
	Cajazeiras	LPI4	0,10	11,24	61	0,10	2,95	57	0,10	2,12	56
	Mandim	LPI5	0,10	2,00	56	0,10	3,30	58	0,10	4,87	58

Legenda

Mesotrófico
Eutrófico
Hipereutrófico

Na primeira campanha os ambientes foram classificados, entre mesotrófico e eutrófico. Na segunda campanha, também realizada durante o período considerado seco na região, porém com um volume de precipitação ainda menor, apenas o ponto RCO0 foi classificado como eutrófico, pois o IET calculado para esta região esteve ligeiramente acima da faixa de valores considerada comum em ambientes mesotróficos, sendo esta a classificação de todos os outros pontos.

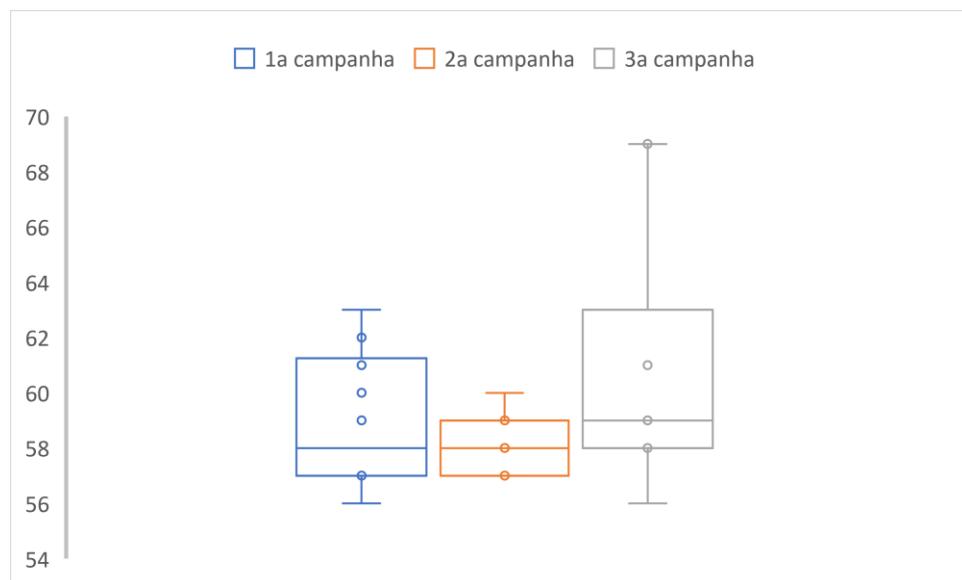
Foi realizada comparação entre os IETs obtidos nas duas primeiras campanhas, por meio do teste de Wilcoxon. O resultado demonstrou que o IET da primeira campanha foi considerado estatisticamente igual ao IET da segunda, com nível de significância de 5% e valor de $p=0,592(>0,05)$.

A mediana do IET da primeira campanha foi igual a 57,88 e a da segunda, 57,75. Assim, apesar da segunda campanha ter sido realizada em período mais seco que a anterior, quando o volume da Lagoa das Piranhas também foi inferior ao do primeiro período, não houve diferença estatística entre os Índices do Estado Trófico calculados. Ressalta-se ainda que a carga de fósforo do Formoso A/H distinta entre estas campanhas também não influenciou nos resultados.

A terceira campanha foi a única realizada em período chuvoso. Nesta campanha, o volume da lagoa também foi o maior no período estudado. A classificação predominante foi mesotrófica, mas houve um ponto classificado como eutrófico e dois como hipereutróficos.

Por meio do teste de Wilcoxon foi avaliada a similaridade entre o IET terceira e primeira campanhas, o qual foi considerado estatisticamente similar ao da segunda. O resultado demonstrou que não houve diferença entre estes IETs, ao nível de significância de 5%, tendo sido obtido p valor igual a 0,201 ($>0,05$). A mediana da terceira campanha foi igual a 58,75. Por meio do gráfico da Figura 15 é possível visualizar a similaridade entre a mediana dos índices em cada campanha.

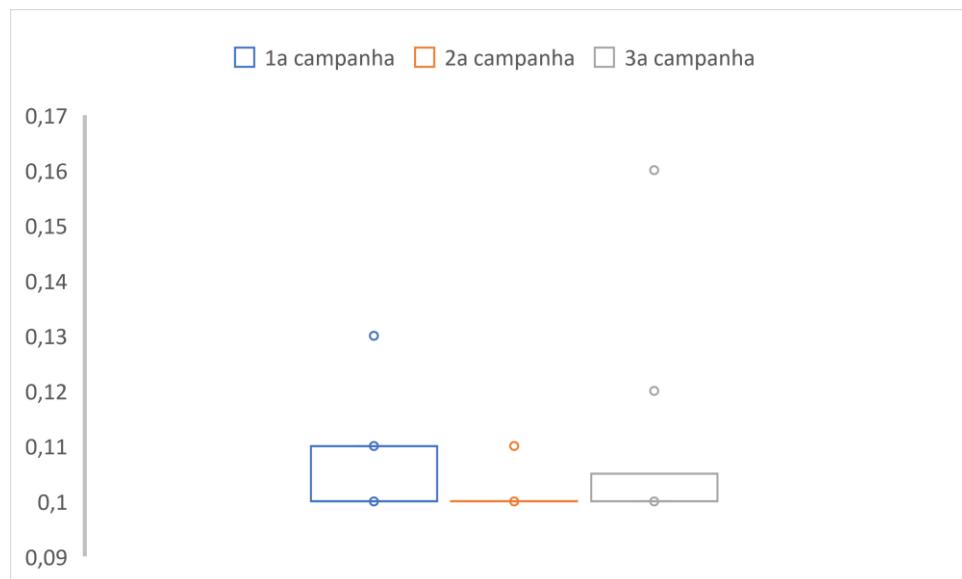
Figura 15 – Variação do IET durante o estudo



A variação dos dados coincide predominantemente com a faixa que define os valores para classificação mesotrófica ($52 < \text{IET} \leq 59$).

Por meio do gráfico da Figura 16 é possível visualizar a variação do fósforo total ao longo das três campanhas realizadas. No período seco (duas primeiras campanhas) houve apenas um ponto discrepante em cada campanha. Na terceira, houve dois pontos discrepantes, o dreno do Projeto Formoso ($0,16 \text{ mg.L}^{-1}$) e o rio Corrente ($0,12 \text{ mg.L}^{-1}$). Ressalta-se que *outliers* ou pontos discrepantes são comuns em estudos ambientais (SABINO, LAGE e ALMEIDA, 2014).

Figura 16 – Variação da concentração de fósforo total nas 3 campanhas

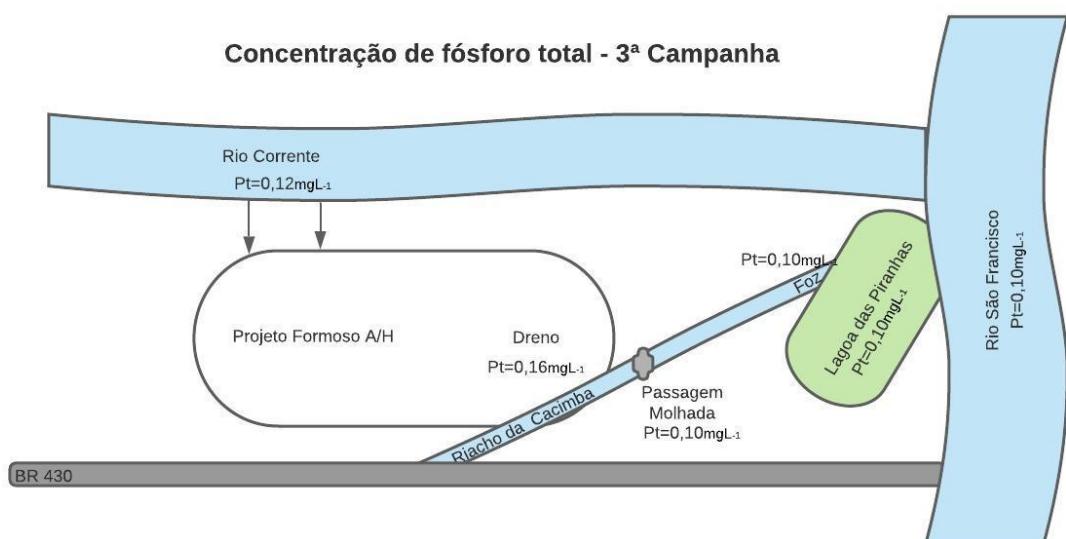


Houve um aumento na concentração de fósforo total entre o ponto de captação e o da drenagem do Projeto, indicando carreamento deste elemento do solo para a água coletada no dreno no período chuvoso (terceira campanha). Tal situação já era esperada em virtude da relação entre escoamento superficial e transporte de fósforo total especialmente em solos agrícolas, que pode afetar a qualidade de corpos hídricos a sua jusante (LONGLEY *et al.*, 2019; PADEDDA *et al.*, 2015; RIBEIRO *et al.*, 2014).

Assim entende-se que as chuvas ocorridas na terceira campanha, consideradas de maior intensidade dentro de um período de pouco mais de uma década, podem ter contribuído para o transporte de nutrientes ao longo do sistema de drenagem do Projeto Formoso A/H.

Já a Figura 17 demonstra que após a saída do Formoso A/H, houve uma redução na concentração de fósforo total ao longo do riacho das Cacimbas, equivalente a $0,6 \text{ mg.L}^{-1}$, sendo registrado no ponto da passagem molhada (RCA3) o valor de $0,10 \text{ mg.L}^{-1}$, o qual se manteve até chegar à Lagoa das Piranhas, inclusive em seu interior. Esta concentração também foi identificada no rio São Francisco.

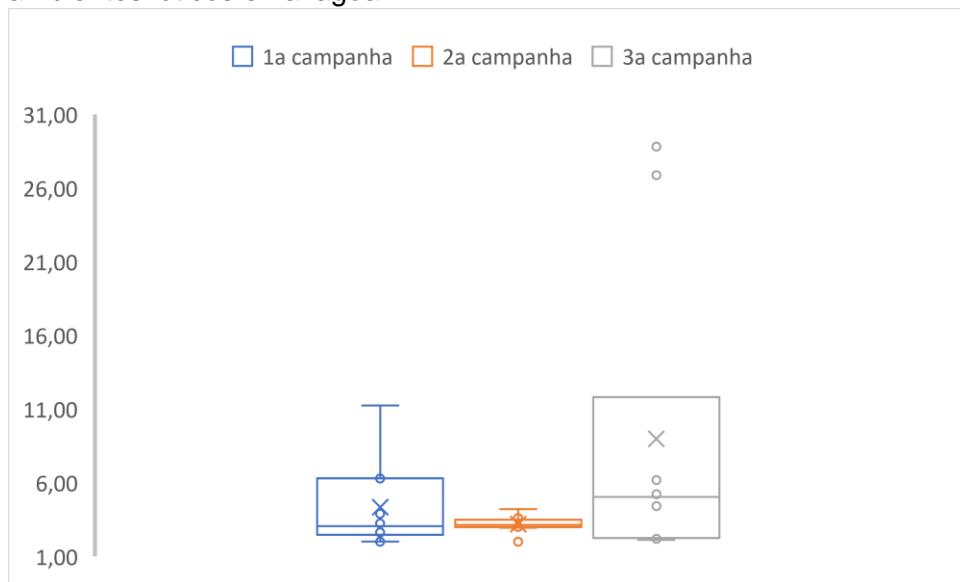
Figura 17 – Concentração de fósforo total na área de estudo na terceira campanha



Observa-se a manutenção nos valores de concentração de fósforo total próximo a $0,10 \text{ mg.L}^{-1}$ na Lagoa independente de tratar-se de período seco ou chuvoso. Longley *et al.* (2019), também observaram este comportamento dos nutrientes no Lago George, Flórida.

O pico observado na concentração de fósforo total no dreno do Projeto Formoso A/H, durante o período chuvoso, pode ter refletido na classificação do estado trófico dos pontos localizados imediatamente à sua jusante, RCA3 e RCA4, que foram considerados hipereutróficos e possuem as maiores concentrações de clorofila a verificadas (Figura 18). Segundo Machado, Knapik e Bitencourt (2019), em regiões nas quais se substituiu as práticas conservacionistas por plantio direto, existe uma significativa contribuição de nutrientes que podem provocar eutrofização em corpos hídricos a jusante.

Figura 18 – Variação da concentração de clorofila a nas três campanhas nos ambientes lóticos e na lagoa.



2.3.5. Avaliação dos ambientes do estudo

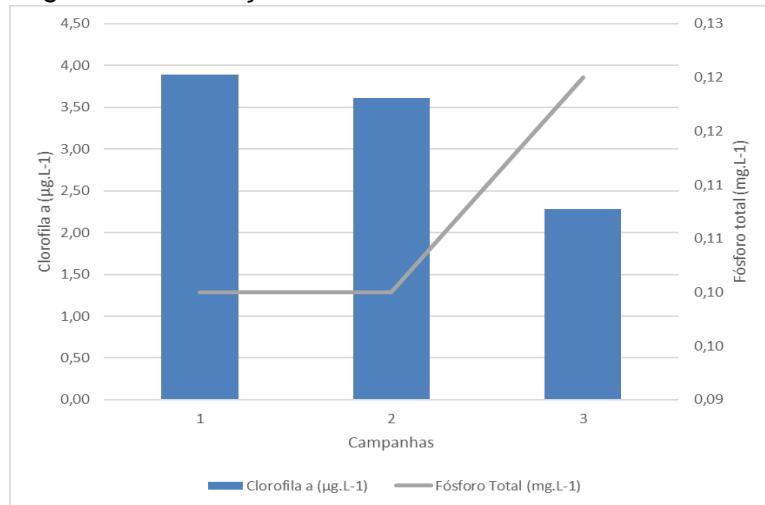
a) Rio Corrente (RCO0)

O rio Corrente corresponde ao manancial que abastece o Formoso A/H. Os maiores valores de clorofila a neste ponto foram observados nas campanhas do período seco, iguais a $3,89 \mu\text{g.L}^{-1}$ e $3,61 \mu\text{g.L}^{-1}$. No período chuvoso a concentração foi igual a $2,28 \mu\text{g.L}^{-1}$.

Em relação ao fósforo total, nas duas campanhas do período seco a concentração foi igual a $0,10 \text{ mg.L}^{-1}$ e o maior valor foi detectado no período chuvoso, igual a $0,12 \text{ mg.L}^{-1}$ (Figura 19). Resultados similares foram observados em afluentes do rio São Francisco por Britto *et al.* (2018).

O RCO0 foi classificado como eutrófico no período seco (primeiras campanhas) e como mesotrófico no período chuvoso (última campanha). Embora na terceira campanha tenha sido verificada a maior concentração de fósforo total, o que indica um aumento na disponibilidade deste nutriente para o corpo hídrico, o qual é função das características da bacia hidrográfica do rio Corrente (SILVA *et al.*, 2018), a produtividade primária neste período foi menor, a qual pode ter sido influenciada pelas condições do corpo hídrico relativas a velocidade e turbidez, por exemplo

Figura 19 – Variação de clorofila a e fósforo total no Rio Corrente



Lopes *et al.* (2019) também observaram maiores valores de IET na estação seca em bacias localizadas na Região de Planejamento das Águas Leste, no estado da Bahia. Já Britto *et al.* (2018), perceberam uma tendência a elevação do estado trófico de afluentes do baixo São Francisco principalmente no período chuvoso.

Entretanto o clima não é a única variável que influencia na qualidade de água dos rios. Para Alnahit, Mishra e Khan (2020), as propriedades e ocupação do solo, bem como a topografia da bacia também exercem influência na variação dos parâmetros que caracterizam as águas, o que pode justificar a classificação trófica do rio Corrente.

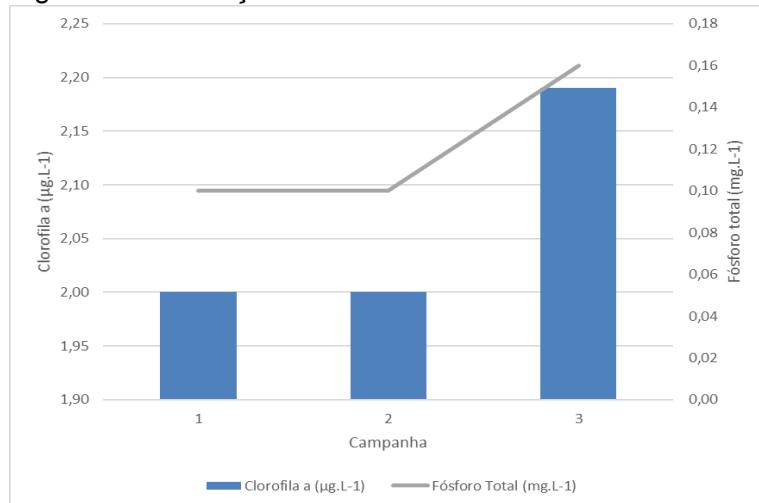
b) Dreno do Formoso (RCA1)

O sistema de drenagem do Formoso A/H evita inundações e contribui para aumentar a produtividade das atividades agrícolas (TRENTMAN *et al.*, 2020). Como já citado anteriormente, o traçado do dreno (Figura 23) coincide com o percurso do riacho das Cacimbas, e assim este corpo hídrico a partir dos limites do Projeto Formoso A/H transporta, também, as águas de sua drenagem.

A concentração de fósforo total foi igual a $0,10 \text{ mg.L}^{-1}$ nas duas campanhas do período seco e $0,16 \text{ mg.L}^{-1}$ no período chuvoso. Já a concentração de clorofila a foi igual a $2,00 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$ nas duas campanhas do

período seco e $2,19 \mu\text{g.L}^{-1}$ no período chuvoso (Figura 20), acompanhando o aumento do nutriente.

Figura 20 – Variação de clorofila a e fósforo total no Dreno



Os sistemas de drenagem, embora aumentem a eficiência produtiva, também podem transportar nutrientes através de seus canais, contribuindo assim para a eutrofização em corpos hídricos receptores, especialmente durante os períodos de precipitação. Assim é necessário maior conhecimento sobre os processos envolvidos com o transporte de fósforo reativo solúvel das áreas agrícolas para os corpos hídricos, associada a avaliação de medidas para sua retenção (TRENTMAN *et al.*, 2020).

O dreno foi classificado como mesotrófico nas três campanhas, tendo sido observada uma pequena elevação no período chuvoso, no qual o aumento na concentração de fósforo total impulsionou a produtividade primária e elevação na concentração de clorofila a, que também foram observadas em pontos a sua jusante.

Por se tratar de um corpo hídrico lótico suas características não tem sido propícias ao desenvolvimento da eutrofização. Além disso, como medida de manutenção no sistema de drenagem do Projeto Formoso A/H, regularmente é realizada pelo Distrito de Irrigação Formoso, a remoção de plantas, sedimentos e matéria orgânica em geral, o que pode contribuir para evitar a eutrofização neste local (ESTEVES, 2011; LIN *et al.*, 2020).

c) Riacho das Cacimbas no trecho da passagem molhada (RCA3)

A passagem molhada (Figura 25) se constitui em um ponto localizado há cerca de 8 km da saída do Projeto Formoso A/H e há 1 km Lagoa das Piranhas (Figura 21). Além do dreno do Formoso A/H, recebe drenagem de outras áreas produtivas no interior de sua bacia.

Na definição dos pontos de amostragem previu-se avaliar o RCA2, que não está sob influência do dreno e tem fácil acesso, entretanto em todas as campanhas este não possuía água suficiente para coleta, conforme já relatado em sessão anterior.

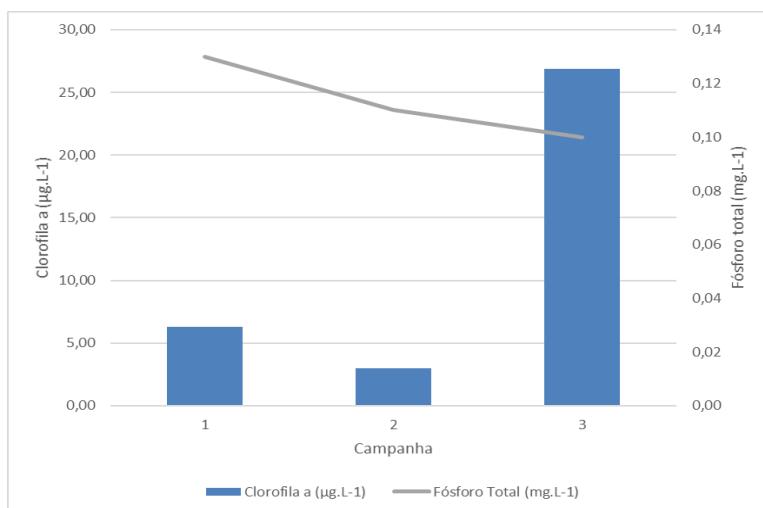
Figura 21 – Localização da passagem molhada



Na passagem molhada a concentração de fósforo total apresentou o maior valor na 1^a campanha igual a $0,13 \text{ mg.L}^{-1}$ e o menor valor na terceira campanha igual a $0,10 \text{ mg.L}^{-1}$. Na 2^a campanha a concentração foi igual a $0,11 \text{ mg.L}^{-1}$. A concentração de clorofila a foi igual a $6,29 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$ e $3,00 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$ na primeira e segunda campanhas, respectivamente. Já na terceira campanha (período chuvoso) o valor foi igual a $26,87 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$, o maior de todo o estudo entre todos os pontos, conforme se pode observar na Figura 22.

Este ponto apresentou classificação distinta em cada uma das três campanhas, sendo eutrófico na primeira, mesotrófico na segunda e hipereutrófico na terceira.

Figura 22 – Variação de clorofila a e fósforo total na passagem molhada.



É possível observar neste ponto, conforme a Figura 28, a presença de grande quantidade de taboa (*Typha dominguenses*), uma macrófita aquática. Colonizado por este tipo de organismo, o canal do riacho das Cacimbas passa a atuar como estação de tratamento de efluentes (ETE) verde conhecida como Sistema Alagado Construído (SAC) (ESTEVES, 2011). Estes sistemas possuem a capacidade de remoção de fósforo total (FIA *et al.*, 2020).

É importante salientar a necessidade de remoção de parte destas plantas com adequada freqüência para evitar redução da qualidade da água, quando de sua morte e decomposição.

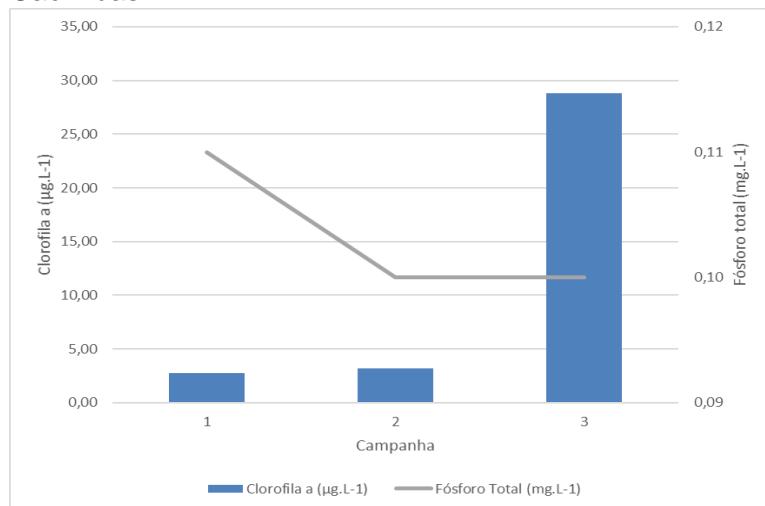
d) Riacho das Cacimbas na região da sua foz (RCA4)

Segundo moradores da comunidade de Lagoa das Piranhas, o riacho das Cacimbas tem este nome devido ao acúmulo de água em bacias de captação que se formavam ao longo do seu traçado durante as chuvas mais intensas. Essas bacias eles chamam de Cacimbas. Atualmente o riacho das Cacimbas possui fluxo durante quase todo o ano.

A concentração de fósforo total na segunda e terceira campanhas foi igual a $0,10 \text{ mg.L}^{-1}$, embora uma corresponda ao período seco e a outra ao chuvoso. Já na primeira campanha apresentou o maior valor igual a $0,11 \text{ mg.L}^{-1}$. A concentração de clorofila a neste ponto foi maior na terceira campanha, igual a $28,81 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$, sendo a menor na primeira campanha igual a $2,74 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$ e na segunda campanha, o valor foi de $3,21 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$ (Figura 23).

Este ponto foi classificado como mesotrófico nas campanhas do período seco e hipereutrófico na última campanha, correspondente ao período chuvoso, com resultado similar ao da passagem molhada nas duas últimas campanhas.

Figura 23 – Variação de clorofila a e fósforo total na foz do riacho das Cacimbas



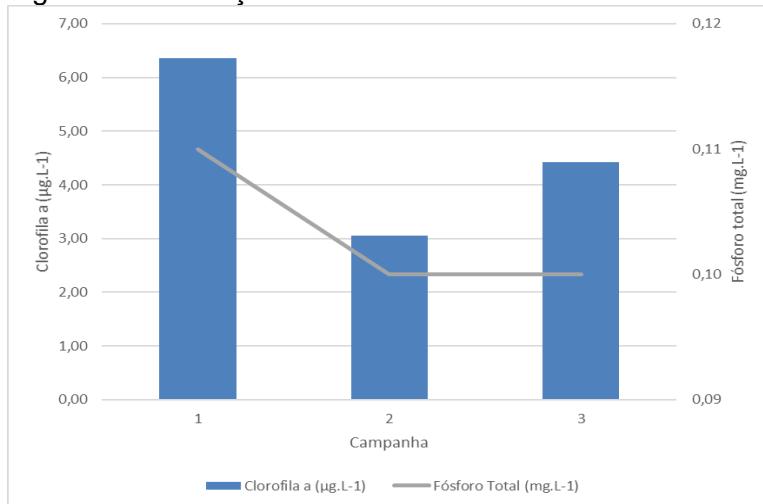
e) Rio São Francisco (RSF0)

As concentrações de clorofila a no rio São Francisco foram iguais a $6,36 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$, $3,06 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$ e $4,42 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$, na primeira, segunda e terceira campanhas respectivamente, sendo as duas primeiras correspondentes ao período seco e a última ao chuvoso. A concentração de fósforo total foi igual a $0,11 \text{ mg.L}^{-1}$ na 1^a campanha e $0,10 \text{ mg.L}^{-1}$ na 2^a e 3^a campanha (Figura 24), o que demonstra que a chuva não alterou significativamente a concentração deste nutriente.

No baixo São Francisco também não se observou variação significativa na concentração de fósforo dissolvido mesmo considerando volumes de

precipitação distintos (MEDEIROS *et al.*, 2016). Nas bacias dos rios Almada, Una e Cachoeira, também não foi observada essa variação (LOPES *et al.*, 2019).

Figura 24 – Variação de clorofila a e fósforo total no rio São Francisco



No que tange à presença de nutrientes e consequente risco de eutrofização nas águas do rio São Francisco, nos limites do município de Bom Jesus da Lapa é importante considerar que a zona urbana não trata 60% dos esgotos gerados. Além disso os 40% dos esgotos coletados são tratados a nível secundário sendo que a remoção de fósforo é esperada em ETEs com tratamento terciário (CBHSF, 2018; JOHANNESDOTTIR *et al.*, 2020).

Na ETE de Bom Jesus da Lapa não é realizado monitoramento de fósforo total. Os parâmetros analisados são coliformes termotolerantes, DBO e DQO. Portanto não é possível definir com precisão a carga de fósforo oriunda deste sistema.

Ressalta-se que Oliveira *et al.* (2017) perceberam ao analisar vários parâmetros, entre eles fósforo total, que o impacto da agricultura e da ocupação urbana eram similares em um mesmo corpo hídrico da bacia do rio São Francisco.

O rio São Francisco foi classificado como eutrófico na primeira e terceira campanhas e mesotrófico na segunda campanha. É interessante salientar que caso fosse considerado o resultado do IET relativo apenas a clorofila a, a classificação seria supereutrófica na primeira campanha e eutrófica na segunda e terceiras.

É válido ressaltar que os estudos visando a elaboração do *Plano de Recursos Hídricos do rio Corrente* verificaram que “os valores de IET foram elevados, atingindo inclusive condição de supereutrofia”, no rio São Francisco considerando-se o trecho entre os municípios de Carinhanha e Ibotirama (INEMA, 2020, p. 52). Concluíram também que um dos pontos com médias mais elevadas de fósforo total se localiza no município de Bom Jesus da Lapa, cuja concentração foi igual a $0,08 \text{ mg.L}^{-1}$.

f) Lagoa das Piranhas (LPI1, LPI2, LPI3, LPI4 e LPI5)

A Lagoa das Piranhas se constitui em uma planície de inundação, adjacente ao rio São Francisco, consistindo em uma transição entre o ambiente terrestre e aquático (WALTON *et al.*, 2020).

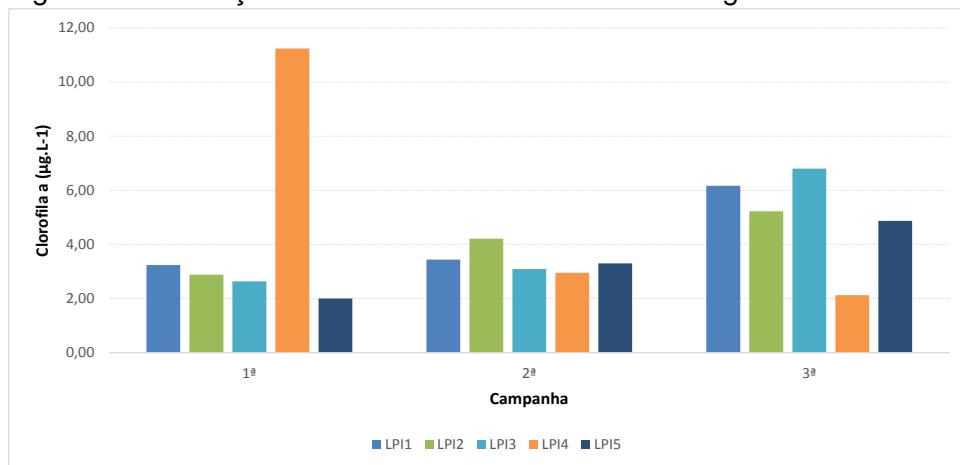
A concentração de fósforo total em todos os pontos da lagoa nas três campanhas realizadas foi igual a $0,10 \text{ mg.L}^{-1}$. Interessante notar que na primeira este valor foi inferior ao de seus principais afluentes, riacho das Cacimbas e rio São Francisco, cuja concentração foi igual a $0,11 \text{ mg.L}^{-1}$. Segundo Schneider *et al.* (2020), a baixa concentração de nutrientes pode ser o reflexo da maior absorção de nutrientes pelas macrófitas ou algas bentônicas como reflexo da intensa produtividade primária.

Mas no caso específico da Lagoa das Piranhas, os resultados das análises não demonstram intensa produtividade primária na primeira campanha. Na verdade, a maior parte da lagoa possuía concentração de clorofila a compatível com ambientes oligotróficos, caracterizada por baixa produtividade primária e sem prejuízo aos usos múltiplos. Apenas no ponto LPI4 foi identificada concentração de clorofila a compatível com ambientes mesotróficos. A variação na concentração da clorofila a na Lagoa das Piranhas pode ser observada tanto no Quadro 2, quanto por meio do gráfico da Figura 25.

Quadro 2 – Concentração de clorofila a ($\mu\text{g.L}^{-1}$) na Lagoa das Piranhas.

Ponto		1 ^a Campanha	2 ^a Campanha	3 ^a Campanha
Lagoa pós Cacimba	LPI1	3,24	3,44	6,17
ETA	LPI2	2,88	4,21	5,22
Saída para o rio	LPI3	2,63	3,09	6,80
Cajazeiras	LPI4	11,24	2,95	2,12
Mandim	LPI5	2,00	3,30	4,87

Figura 25 – Variação de clorofila a e fósforo total na Lagoa das Piranhas



A ocorrência das chuvas provocou um aumento na concentração da clorofila a na maior parte dos pontos, com exceção do LPI4 que teve comportamento completamente contrário ao longo do estudo, o que demonstra que houve variação espacial na concentração de clorofila a, bem como no IET, considerando os 5 pontos amostrais e pode indicar que estes possuem características distintas, como por exemplo, profundidade, a ser atestada mediante execução de batimetria.

No reservatório Orós, no Ceará, também pertencente a região semiárida, os resultados foram diferentes, pois maiores concentrações médias de clorofila a, foram registradas durante a estação seca. Neste período as temperaturas são mais altas devido a maior intensidade de radiação. Além disso, a zona eufótica é ampliada, pois não há entrada de sedimentos a partir da drenagem, o que reduz a turbidez, possibilitando assim maior atividade fotossintética (SANTOS *et al.*, 2014).

Já Gunkel *et al.* (2018), observaram crescimento excessivo de fitoplâncton na região do reservatório Itaparica, sub-médio São Francisco, durante o período de chuvas intensas. Eles atribuem este resultado a intensa

carga de nutrientes recebida neste período em um curto intervalo de tempo, devido ao escoamento superficial, descarga de afluentes, além da entrada de solo superficial e, também, de resíduos.

No caso da Lagoa das Piranhas é importante salientar que esta recebe contribuições especialmente de drenagem agrícola durante a maior parte do ano.

Em relação ao estado trófico, a Lagoa das Piranhas foi classificada como meso a eutrófica na primeira campanha, realizada em período seco e mesotrófica nas segunda e terceira campanhas, que consistem em uma estação seca e chuvosa, respectivamente. Ficou evidente que a pluviometria no período estudado não influenciou o estado trófico deste corpo hídrico.

Entretanto em monitoramento realizado em agosto de 2011, a Lagoa das Piranhas já havia sido classificada como meso a eutrófica, devido a alta concentração de clorofila *a* ($9,70$ a $18,69 \mu\text{g.L}^{-1}$) e fósforo total ($0,04 \text{ mg.L}^{-1}$). Os autores salientaram a possibilidade de o aporte de nutrientes ser maior do que a capacidade de depuração deste corpo hídrico, o qual pode tornar-se eutrófico. Neste estudo foram identificados organismos indicadores de eutrofização como *Euglenophyceae* e *Brachionus angularis* (CODEVASF, 2011).

Os resultados obtidos no presente estudo, a partir do IET indicam que a Lagoa das Piranhas não se encontra com o processo de eutrofização plenamente estabelecido. Embora classificada predominantemente como mesotrófica, a lagoa apresenta sinais de eutrofização como o crescimento de macrófitas (ESTEVES, 2011), que pode ser observado em algumas das imagens constantes no Quadro 13.

Embora o IET não avalie a produtividade das macrófitas, a presença destas plantas na Lagoa das Piranhas demanda atenção e imediata intervenção, haja vista a capacidade que este tipo de corpo hídrico possui de reter nutrientes, inclusive ao evitar que eles cheguem aos rios a sua jusante e assim estar sujeito a eutrofização (WALTON *et al.*, 2020).

Quadro 3 – Situação dos pontos amostrais da Lagoa das Piranhas

Ponto/ Camp anha	1ª Campanha (Período Seco – Maio/19)	2ª Campanha (Período Seco – Set/19)	3ª Campanha (Período Chuvoso – Jan/20)
LPI1			
LPI2			
LPI3			
LPI4			
LPI5			

No item a seguir serão apresentadas algumas propostas para melhoria da qualidade das águas da Lagoa das Piranhas.

2.3.6. Proposta para melhoria da qualidade das águas da Lagoa das Piranhas

A principal atividade desenvolvida na microbacia do riacho das Cacimbas na qual se encontra inserida a Lagoa das Piranhas é a agricultura e existem estudos como o realizado por Lin *et al.* (2020), que apontam a expansão da agricultura como principal causa da eutrofização.

Já que existe uma relação entre a perda de fósforo, principal nutriente limitante de lagos rasos, a partir do escoamento superficial e a fertilização do

solo (FISCHER *et al.*, 2018; LIN *et al.*, 2021), entende-se a importância do manejo de fertilizantes. Por isso os agricultores da bacia do riacho das Cacimbas devem verificar regularmente a fertilidade do solo, bem como evitar a fertilização, especialmente em períodos que antecedem picos de chuva (LI *et al.*, 2020). Tal ação pode contribuir para restauração ecológica da lagoa (GARCIA NIETO *et al.*, 2019).

O controle da poluição agrícola deve contemplar, também, o manejo adequado do solo (LI *et al.*, 2020), por isso se recomenda a adoção de práticas conservacionistas na bacia do riacho das Cacimbas, a fim de reduzir o aporte de sedimentos para a Lagoa das Piranhas (SOUZA e GASTALDINI, 2019). Aliado as mudanças climáticas, o acúmulo de sedimentos pode reduzir ainda mais o nível deste corpo hídrico, favorecendo a eutrofização (LIN *et al.*, 2021; YAN *et al.*, 2020).

Outro aspecto a se considerar é que o isolamento da Lagoa das Piranhas em boa parte do ano resulta em menor troca de água com o rio São Francisco, implicando em redução na capacidade de diluição de nutrientes e consequentemente alteração da qualidade das suas águas que ainda recebem a drenagem da bacia (GUNKEL *et al.*, 2018). Pires *et al.* (2015) perceberam uma grande correlação positiva entre o tempo de residência e a concentração de clorofila a, indicador de biomassa algal.

Percebe-se assim que a operação da comporta manual pela população deve ser precedida da avaliação do tempo de residência adequado para manutenção da qualidade das suas águas que atendem aos usos múltiplos.

A dragagem da Lagoa das Piranhas, precedida de análise de viabilidade, inclusive ambiental, também é uma ação a ser considerada, haja vista ser indicada para recuperação de áreas úmidas degradadas (SALK, STEINMAN e OSTROM, 2018). Justifica-se esta ação devido a percepção pela população da redução da profundidade da lagoa, o que demandou a instalação da comporta e que pode ser resultante do maior aporte de sedimentos da bacia.

Além disso, tanto para acompanhar a efetividade dessa ação, caso se demonstre viável, quanto para monitorar a variação do volume da lagoa,

sugere-se a instalação de uma régua limnétrica, precedida de levantamento batimétrico para obtenção de dados sobre sua profundidade.

Considerando que a bacia do rio São Francisco é extensa e complexa, e que a operação dos reservatórios é um fator de alteração do regime hidrológico (MEDEIROS *et al.*, 2016), o seu impacto é relevante na variação do volume da Lagoa das Piranhas, aumentando o risco de eutrofização (WANG, LIU, ZHENG, 2013). Para as populações e usuários da bacia, a regularização de vazões além de impedir o alagamento periódico das lagoas marginais, “alteram irreversivelmente estes importantes habitats e ecossistemas ribeirinhos” (CBHSF, 2015, p. 307).

O impacto da operação de reservatórios à montante da Lagoa das Piranhas é evidente. Para Koch *et al.* (2018), que simularam algumas regras de operação no submédio e baixo São Francisco é impossível para este rio retornar ao fluxo natural, devido as atuais demandas, entretanto existe a possibilidade dos reservatórios serem operados atendendo também as demandas ecológicas e dos lagos a jusante das barragens, o que deve produzir uma melhoria nestes ecossistemas.

Outro aspecto a se considerar é que os afluentes são os principais meios de transporte de poluentes para os ambientes lênticos (LIN *et. al.*, 2020). Nesse sentido, Machado, Knapik e Bitencourt (2019) apontam para a necessidade de ter atenção quanto a presença de fósforo em rios que alimentam reservatórios, devido ao risco de eutrofização.

Conforme já relatado anteriormente, a Lagoa das Piranhas é influenciada pelo rio São Francisco e pelo riacho das Cacimbas, o qual ainda transporta a água do dreno oriunda do Formoso A/H, este por sua vez realiza captação no rio Corrente. Todos estes corpos hídricos lóticos foram considerados eutróficos em uma ou mais campanhas; rio Corrente na primeira e segunda, rio São Francisco na primeira e terceira, riacho das Cacimbas na primeira, sendo classificado como hipereutrófico na terceira.

Entende-se, portanto, como fundamental o monitoramento da qualidade das águas afluentes a Lagoa das Piranhas, permitindo a comparação entre os dados e a avaliação das melhores propostas para evitar

a sua degradação (CUNHA *et al.*, 2010). O monitoramento também possibilita o conhecimento das atividades degradantes (BARRETO *et al.*, 2014), além de auxiliar no estabelecimento de políticas públicas, bem como informar a população (LAMPARELLI, 2004; LOPES *et al.*, 2019).

Já integram a rede de monitoramento do Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas – PNQA, os rios Corrente e São Francisco. Entretanto como este programa visa à gestão sustentável dos recursos hídricos, no caso da Lagoa das Piranhas seria interessante também o seu monitoramento, bem como do riacho das Cacimbas. Ressalta-se que na Bahia, o Inema é responsável por executar as atividades do programa no âmbito estadual.

Ainda nesse sentido percebe-se a necessidade de controle de potenciais fontes de fósforo para a Lagoa das Piranhas, em especial a drenagem agrícola e o tratamento de esgotos do município de Bom Jesus da Lapa.

No caso da drenagem devem ser estabelecidas medidas para redução do volume gerado, o que pode demandar melhorias nos sistemas de irrigação existentes visando a sua máxima eficiência. Complementarmente, utilização de sistemas de reuso das águas de drenagem, bem como a manutenção de áreas de tratamento, como o SAC que se estabeleceu nas proximidades da passagem molhada.

Percebe-se também a necessidade de estudos do transporte de fósforo contido no solo da bacia do riacho das Cacimbas para os corpos hídricos que a compõem, visando a melhoria da qualidade das águas, por meio do estabelecimento de medidas para mitigação deste nutriente (GARCÍA NIETO *et al.*, 2019; TRENTMAN *et al.*, 2020).

Em se tratando dos esgotos domésticos é imperativa a ampliação da cobertura de sua coleta visando a universalização, bem como a instalação de unidades de tratamento terciário na ETE municipal, além do reuso.

A Tabela 3 apresenta um resumo das propostas visando a melhoria da qualidade das águas da Lagoa das Piranhas, com indicação de possíveis responsáveis pela sua implementação, contemplando usuários (agricultores e

município de Bom Jesus da Lapa), órgãos gestores de recursos hídricos e meio ambiente, comitê de bacia e universidades públicas locais (Instituto Federal Baiano - IF Baiano e Universidade Federal do Oeste Baiano - UFOB).

Tabela 3 – Propostas para melhoria da qualidade das águas da Lagoa das Piranhas

Medida	Responsável
Manejo de fertilizantes	<ul style="list-style-type: none"> • Agricultores • Inema (fiscalização)
Adoção de práticas conservacionistas na bacia	<ul style="list-style-type: none"> • Agricultores • Inema (fiscalização) • CBHSF (apoio a partir dos recursos da cobrança)
Avaliação do tempo de residência da água na Lagoa das Piranhas	<ul style="list-style-type: none"> • CBHSF (financiamento a partir dos recursos da cobrança)
Dragagem da Lagoa das Piranhas	<ul style="list-style-type: none"> • CBHSF (financiamento a partir dos recursos da cobrança)
Avaliação batimétrica da lagoa e instalação de régua limnétrica	<ul style="list-style-type: none"> • CBHSF (financiamento a partir dos recursos da cobrança) • ANA
Operação dos reservatórios do sistema hídrico do São Francisco que garanta a conservação das lagoas marginais	<ul style="list-style-type: none"> • ANA • CBHSF
Monitoramento das águas afluentes a Lagoa das Piranhas	<ul style="list-style-type: none"> • Inema • Usuários • Universidades
Redução e reuso do volume drenado das áreas agrícolas	<ul style="list-style-type: none"> • Usuários • Inema (fiscalização)
Estudo de transporte do fósforo contido na bacia	<ul style="list-style-type: none"> • Universidades • CBHSF (financiamento a partir dos recursos da cobrança)
Ampliação da cobertura de tratamento de esgotos de Bom Jesus da Lapa, instalação de unidades de tratamento terciárias e reuso.	<ul style="list-style-type: none"> • Prefeitura de Bom Jesus da Lapa

As propostas apresentadas vão ao encontro de objetivos estabelecidos no art. 2º da PNRH e estão de acordo com o estabelecido no inciso IV, art. 1º da PNRH, relacionada ao uso múltiplo das águas (BRASIL, 1997). O principal objetivo do que foi proposto é buscar compatibilizar os usos que afetam a qualidade das águas da Lagoa das Piranhas com aqueles que por ela são afetados.

Ao propor ações como manejo de fertilizantes, monitoramento do fósforo e adoção de práticas conservacionistas na bacia, por exemplo, se pretende garantir a continuidade da prática da agricultura na região, entretanto de maneira que não prejudique o uso para abastecimento humano

a partir da lagoa, ou comprometa a sua função ecossistêmica de grande relevância para o rio São Francisco.

Encontra respaldo ainda na PNRH o envolvimento de vários atores para garantir a recuperação da lagoa, visando uma gestão das águas de forma descentralizada, contando com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades (BRASIL, 1997).

Outro aspecto relevante se refere aos valores arrecadados com a cobrança pelo uso de recursos hídricos, os quais devem ser prioritariamente aplicados na bacia hidrográfica na qual foram gerados e que podem financiar estudos, programas, projetos e obra incluídos nos planos de recursos hídricos, conforme artigo 23 da Lei nº 9.433/97 (BRASIL, 1997).

A cobrança que é um instrumento da PNRH que já vem sendo efetivada na bacia do São Francisco, da qual faz parte a Lagoa das Piranhas visa, dentre outros, estimular ações para proteção, preservação e recuperação de corpos hídricos a partir de valores monetários arrecadados pelos usos de água outorgados (BRASIL, 1997). Visa ainda a implementação dos planos de recursos hídricos.

Já o plano considera a necessidade de melhoria da qualidade das águas disponíveis, reconhecendo ainda sua influência no balanço hídrico, bem como a possibilidade de serem induzidos conflitos devido a sua ausência (BRASIL, 1997). Juntamente com o plano se desenvolve a proposta de enquadramento que se propõe a melhorar a qualidade das águas considerando os usos atuais e futuros na bacia (CNRH, 2008; MACHADO, KNAPIK e BITENCOURT, 2019).

O plano da bacia hidrográfica do rio São Francisco PRH-SF (2016-2025) foi atualizado em 2015, contemplando metas para 20 anos a partir desta revisão e prevendo a utilização de recursos oriundos da cobrança pelo uso da água do rio.

Dentre os documentos que integram o referido plano se encontra o caderno de investimentos da bacia hidrográfica do rio São Francisco, cujo principal objetivo consiste na apresentação de fichas de ações do PRH-SF de responsabilidade do comitê. Neste as ações estão contempladas em 6 eixos e

as intervenções propostas na Tabela 3 para melhoria da qualidade das águas da Lagoa das Piranhas, possuem aderência especialmente com algumas metas do eixo II: Qualidade da Água e Saneamento, conforme definição destas na Tabela 10.

Tabela 4 – Ações do PRH-SF relativas a qualidade da água

Meta	Atividade	Ações
II.3 – Até 2025 implementar um plano integrado de investimentos em prevenção e controle de poluição das águas superficiais e subterrâneas.	Recuperação ambiental das áreas afetadas pelas atividades agrícolas e pecuárias na Bacia.	<p>Apoio a constituição de parcerias (com entidades responsáveis pelo gerenciamento de perímetros irrigados, empresas pecuárias e Codevasf)</p> <p>Acompanhamento da elaboração, e divulgação dos resultados, dos estudos de avaliação da influência da poluição difusa de origem agrícola e pecuária na qualidade das águas</p> <p>Apoio ao planejamento das intervenções destinadas a minimização de problemas de qualidade da água</p> <p>Acompanhamento da implementação das intervenções</p>
II.6 – Até 2023 servir 76% dos domicílios totais com esgotamento sanitário e atender 95% dos domicílios urbanos com celta de lixo.	Implantação de Sistemas de Esgotos, Resíduos Sólidos e Drenagem Urbana.	<p>Sensibilização (e apoio) das entidades com responsabilidades no saneamento para a necessidade de comunicar anualmente ao SNIS a informação requerida sobre as componentes de esgotamento sanitário, coleta e disposição de resíduos</p> <p>Promoção de sessões/iniciativas de articulação entre entidades, no setor do esgotamento sanitário, coleta e disposição de resíduos (concessionárias, consórcios municipais, municípios, associações de usuários)</p> <p>Apoio aos municípios na busca de recursos para desenvolvimento e implementação de projetos</p> <p>Sistematização e atualização das principais intervenções planejadas e realizadas na Bacia Hidrográfica do São Francisco nas componentes de esgotamento sanitário, destinação de resíduos e drenagem urbana.</p>

Fonte: CBHSF (2016)

A capacitação de agricultores para uso e manejo de fertilizantes, que consiste em uma das ações propostas visando a melhoria da qualidade das águas da Lagoa das Piranhas, também foi contemplada no PRH-SF (2016-2025), entretanto no eixo I: Governança e mobilização social. Tem aderência com a meta I.4, que objetiva formar e/ou capacitar 10% dos atores da BHSF até 2025, atividade 1.4.a – Programa de formação e capacitação de usuários.

2.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Índice do Estado Trófico foi aplicado para avaliar a Lagoa das Piranhas, bem como outros corpos hídricos que influenciam este corpo hídrico. Embora tenha sido demandada uma logística mais complexa para aplicação do IET nesta localidade, percebeu-se que consiste em uma ferramenta útil para identificação do processo de eutrofização, o qual permite avaliar as atividades degradantes na bacia.

A Lagoa das Piranhas foi considerada meso a eutrófica na primeira campanha e mesotrófica na segunda e terceira campanhas, sendo as duas primeiras secas e a terceira chuvosa, considerando o período compreendido entre maio de 2019 e janeiro de 2020. Entretanto outros corpos hídricos que influenciam a lagoa puderam ser classificados como eutróficos no período seco e até hipereutróficos no período chuvoso.

A presença do fósforo na Lagoa se justifica em virtude do uso do solo na bacia do rio São Francisco na região de Bom Jesus da Lapa, demonstrando um carreamento deste para os corpos hídricos em função principalmente das atividades agrícolas, mas considerando-se também a possível contribuição dos esgotos sem tratamento ou cujo tratamento não promovem a remoção deste nutriente.

A fim de garantir a disponibilidade hídrica da Lagoa das Piranhas, foram apresentadas propostas visando a melhoria da qualidade das suas águas, que demandam a participação tanto de usuários, como órgãos gestores, comitês de bacias e até sociedade civil.

REFERÊNCIAS

- ALNAHIT, A. O., MISHRA, A. K., KHAN, A. A. Quantifying climate, streamflow, and watershed control on water quality across Southeastern US watersheds. *Science of The Total Environment*, v. 739, 2020.
- AMORIM, D. G.; CAVALCANTE, P. B. S.; SOARES, L. S.; AMORIM, P. E. C. Enquadramento e avaliação do índice de qualidade da água dos igarapés Rabo de Porco e Precuá, localizados na área da Refinaria Premium I, município de Bacabeira (MA). *Eng Sanit Ambient*, Rio de Janeiro, v. 22, n. 2, p. 251-259, 2017.
- ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO. *A questão da água no Nordeste*. Brasília: CGEE, 2012.
- _____. *Portal da Qualidade das Águas*. Brasília. 2017. Disponível em: <http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-estado-trofico.aspx>. Acesso em: 08 jan. 2021.
- _____. HidroWeb. Séries históricas de estações: Estação pluviométrica nº 01343019. Brasília: ANA, 2020.
- ARAÚJO, D. R.; MENDONÇA, A. S. F.; REIS, J. A. T. Análise de variação e comparação de índices de estado trófico: reservatórios dos aproveitamentos hidrelétricos de Rio Bonito e Suiça. *Eng Sanit Ambient*, Rio de Janeiro, v. 23, n.1, p. 55-62, 2018.
- BAHIA. Geobahia. *Mapas interativos*. Salvador, 2019.
- BASTOS, L. *Comporta na Lagoa das Piranhas*. 1 fotografia. Bom Jesus da Lapa, 2018.
- BARRETO, L. V.; FRAGA, M. S.; BARROS, F. M.; ROCHA, F. A.; AMORIM; J. S.; CARVALHO, S. R; BONOMO, P.; SILVA, D. P. Relação entre vazão e qualidade da água em uma seção de rio. *Ambi Agua*, Taubaté, v. 9, n. 1, p. 118-129, 2014.
- BEM, C. C.; BRAGA, M. C. B.; AZEVEDO J. C. R. Avaliação do estado trófico de um lago urbano raso. *REGA*, Porto Alegre, v. 10, n. 1, p. 41-50, 2013.
- BRAGA, B.; HESPAÑOL, I.; CONEJO, J. G. L.; MIERZWA, J. C.; BARROS, M. T. L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI; N.; JULIANO, N.; EIGER, S. *Introdução à Engenharia Ambiental*. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.
- BRASIL. *Lei nº 9.433 de 08 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 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, DF, 1997.
- BRITTO, F. B.; VASCO, A. N.; AGUIAR NETTO, A. O.; GARCIA, C. A. B.; MORAES, G. F. O.; SILVA, M. G. Surface water quality assessment of the main tributaries in the lower São Francisco River, Sergipe. *RBRH*, Porto Alegre, v. 23, 2018.

- BUCCI, M. H. S; OLIVEIRA, L. F. C. Índices de Qualidade da Água e de Estado Trófico na Represa Dr. João Penido (Juiz de Fora, MG). *Ambi & Água*, v. 9, n. 1, p. 130-148 2014, Taubaté.
- CBHSF. *Plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio São Francisco 2016-2025: RP1B – Diagnóstico da dimensão da participação social*. Belo Horizonte, 2015.
- _____. *Plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio São Francisco 2016-2025: RF1 – Caderno de investimentos da bacia hidrográfica do rio São Francisco*. Belo Horizonte, 2016.
- _____. *Plano municipal de saneamento básico do município de Bom Jesus da Lapa: Produto 2 – Diagnóstico da situação do saneamento básico*. 2018.
- CETESB: ANA. *Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras*. São Paulo: CETESB; Brasília, DF: ANA. 2011.
- CHEN, C. W.; JU, Y. R.; CHEN, C. F.; DONG, C. D. Evaluation of organic pollution and eutrophication status of Kaohsiung Harbor, Taiwan. *International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 113, p. 318-324, 2016.
- _____. *Monitoramento da qualidade de águas, sedimentos e peixes: área de influência do Perímetro Irrigado Formoso*. Bom Jesus da Lapa/BA, Relatório. 2a Superintendência Regional – Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba. Bom Jesus da Lapa, 2011.
- CONAMA. 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 outras providências. Brasília: CONAMA, 2005.
- COSTA, M. R. A.; ATTAYDE, J. L.; BECKER, V. Effects of water level reduction on the dynamics of phytoplankton functional groups in tropical semi-arid shallow lakes. *Hydrobiologia*, Switzerland, v. 778, p. 75-89, 2016.
- CUNHA, D. G. F.; CALIJURI, M. C. Análise probabilística de ocorrência de incompatibilidade da qualidade da água com o enquadramento legal de sistemas aquáticos – estudo de caso do rio Pariquera-Açu (SP). *Eng Sanit Ambient*, Rio de Janeiro, v. 15, n. 4, p. 337-346, 2010.
- ESTEVES, F. A. (Coord). *Fundamentos da Limnologia*. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.
- FIA, F. R. L.; MATOS, A. T.; FIA, R.; BORGES, A. C.; BAPTESTINI, G. C. F. Dinâmica do fósforo em sistemas alagados construídos tratando água residuária da suinocultura. *Eng Sanit Ambient*, Rio de Janeiro, v. 25, n. 1, p. 79-86, 2020.
- FISCHER, P.; POTHIG, B.; GUCKER, B.; VENOHR, M. Phosphorus saturation and superficial fertilizer application as key parameters to assess the risk of diffuse phosphorus losses from agricultural soils in Brazil. *Science of The Total Environment*, v. 630, p. 151-1527, 2018.
- GARCÍA NIETO, P. J.; GARCÍA-GONZALO, E.; FERNÁNDEZ, A.; DÍAZ MUÑIZ, C. Water eutrophication assessment relied on various machine

- learning techniques: A case study in the Englishmen Lake (Northern Spain). *Ecological Modelling*, v. 404, p. 91-102, 2019.
- GODINHO, H. P.; GODINHO, A. L. (Org.). *Águas, peixes e pescadores do São Francisco das Minas Gerais*. Minas Gerais: PUC Minas, 2003.
- GOOGLE EARTH. 2020. 1 imagem de satélite, color. Disponível em: <https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>. Acesso em: 20 ago. 2020.
- _____. 2021. 2 imagens de satélite, color. Disponível em: <https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>. Acesso em: 7 fev. 2021.
- GUNKEL, G.; SELGE, F.; KEITEL, J.; LIMA, D.; CALADO, S.; SOBRAL, M.; RODRIGUEZ, M.; MATTA, E.; HINKELMANN, R.; CASPER, P.; HUPFER, M. Water management and aquatic ecosystem services of a tropical reservoir (Itaparica, São Francisco, Brazil). *Reg Environ Change*, v.18, p. 1913–1925, 2018.
- IBM Corp. IBM SPSS Statistics for Windows, version 27.0, Armonk, New York, 2019.
- INCRA. INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA. *Portaria nº 662, de 24 de abril de 2018*. Brasília: INCRA, 2018.
- INEMA. INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. *Relatório de Monitoramento da Qualidade das Águas – Região de Planejamento e Gestão das Águas Rio Carinhanha*. Salvador, 2013.
- _____. Portaria nº 9650 de 25 de abril de 2015. Salvador: INEMA, 2015a.
- _____. Portaria nº 9651 de 25 de abril de 2015. Salvador: INEMA, 2015b.
- _____. *Portaria nº 12.251 de 18 de agosto de 2016*. Define os procedimentos, documentos e estudos necessários para a regularização ambiental de atividades e empreendimentos agrossilvopastorais classificados como Agricultura (Agricultura de Sequeiro e Agricultura irrigada) ou Pecuária Extensiva. Salvador: INEMA, 2016.
- _____. *Plano de recursos hídricos e proposta de enquadramento dos corpos de água da RPGA do rio Corrente e riachos do Ramalho, Serra Dourada e Brejo Velho: PP2a – Nota Técnica 8 (Qualidade das Águas Superficiais e Subterrâneas)*. Salvador, 2020.
- INMET. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. *Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa*. 2020.
- JOHANNESDOTTIR, S. L.; MACURA, B., MCCONVILLE, J.; LORICK, D.; HADDAWAY, N. R.; KARCZMARCZYK, A.; EK, F.; PINIEWSKI, M.; KSIEZNIAK, M.; OSUCH, P. What evidence exists on ecotechnologies for recycling carbon and nutrients from domestic wastewater? A systematic map. *Environ Evid*, v.9, n. 24, 2020.
- KOCH, H.; SELGE, F.; AZEVEDO, J. R. G.; SILVA, G. N. S.; SIEGMUND-SCHULTZE, M.; HATTERMANN, F. F. Reservoir operation and environmental water demand: Scenarios for the Sub-Middle and Lower São Francisco River basin, Brazil. *Ecohydrology*, v. 11, 2018.
- LAMPARELLI, M. C. *Graus de trofia em corpos d' água do estado de São Paulo. Avaliação dos métodos de monitoramento*. Tese (Doutorado em

Ciências) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

LI, Y.; ARE, K. S.; HUANG, Z.; GUO, H.; WEI, L.; ABEGUNRIN, T. P.; GU, M.; QIN, Z. Particulate N and P exports from sugar cane growing watershed are more influenced by surface runoff than fertilization. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 302, 2020.

LIN, S. S.; SHEN, S. L.; ZHOU, A.; LYU, H. M. Sustainable development and environmental restoration in Lake Erhai, China. *Journal of Cleaner Production*, v. 258, 2020.

LIN, S. S.; SHEN, S. L.; ZHOU, A.; LYU, H. M. Assessment and management of lake eutrophication: A case study in Lake Erhai, China. *Science of The Total Environment*, v. 751, 2021.

LONGLEY, K. R.; HUANG, W.; CLARK, C.; JOHNSON, E. Effects of nutrient load from St. Jones River on water quality and eutrophication in Lake George, Florida. *Limnologica*, German, v. 77, 2019.

LOPES, O. F.; ROCHA, F. A.; SOUSA, L. F.; SILVA, D. M. L.; AMORIM, A. F.; GOMES, R. L.; SILVA JÚNIOR, A. L. S.; JESUS, R. M. *Influence of land use on trophic state indexes in northeast Brazilian river basins*. *Environ Monit Assess*, v. 191, 2019.

MACHADO, E. S.; KNAPIK, H. G. e BITENCOURT, C. C. A. Considerações sobre o processo de enquadramento de corpos de água. *Eng Sanit Ambient*, Rio de Janeiro, v. 24, n. 2, p. 261-269, 2019.

MEDEIROS, P. R. P.; CAVALCANTE, G. H.; BRANDINI, N.; KNOPPERS, B. A. Inter-annual variability on the water quality in the Lower São Francisco River (NE-Brazil). *Acta Limnologica Brasiliensis*, v. 28, 2016.

OLIVEIRA, S. C.; AMARAL, R. C.; ALMEIDA, K. C. B.; PINTO, C. C. *Qualidade das águas superficiais do Médio São Francisco após a implantação dos perímetros irrigados de Gorutuba/Lagoa Grande e Jaíba*. *Eng Sanit Ambient*, Rio de Janeiro, v. 22, n. 4, p. 711-721, 2017.

PADEDDA, B. M.; SECHI, N.; LAI, G. G.; MARIANI, M. A.; PULINA, S.; SARRIA, M.; SATTA, C. T.; VIRDI, T.; BUSCARINU, P.; LUGLIE, A. A fast-response methodological approach to assessing and managing nutrient loads in eutrophic Mediterranean reservoirs. *Ecological Engineering*, Naples, v. 85, p. 47-55, 2015.

PINHO, E. S.; ROSANOVA, C.; MATOS, F. T.; HONDA, R. T.; BUENO, G. W.; AKAMA, A. Avaliação do Índice de Estado Trófico como ferramenta para monitoramento de atividades aquícolas em reservatórios continentais. *Biotemas*, Florianópolis, v. 31, n. 4, p. 23-34, 2018.

PIRES, D. A.; TUCCI, A.; CARVALHO, M. C.; LAMPARELLI, M. C. Water quality in four reservoirs of the metropolitan region of São Paulo, Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensis*, Rio Claro, v. 27, p. 370-380, 2015.

RIBEIRO, K. H.; FAVARETTO, N.; DIECKOW, J.; SOUZA, L. C. P.; MINELLA, J. P. G.; ALMEIDA, L.; RAMOS, M. R. Quality of surface water related to land use: a Case study in a catchment with small farms and Intensive vegetable

crop production in Southern Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 38, p. 656-668, 2014.

RIBEIRO, S. *Mapa de uso e ocupação da terra na bacia do córrego da Cacimba*. Salvador, 2020. 1 mapa.

ROCHA, D. P. A. *Projeto Formoso: Impactos socioeconômicos e ambientais no município de Bom Jesus da Lapa-Ba*. 2016. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Urbano) – Universidade Salvador – UNIFACS, Laureate International Universities, Salvador, 2016.

SABINO, C. V. S.; LAGE, L. V.; ALMEIDA, K. C. B. Uso de métodos estatísticos robustos na análise ambiental. *Eng Sanit Ambient*, Rio de Janeiro, Ed. Especial, p. 87-94, 2014.

SALK, K.R.; STEINMAN, A.D.; OSTROM, N.E. Wetland restoration and hydrologic reconnection result in enhanced watershed nitrogen retention and removal. *Wetlands*, v. 38, p. 349–359, 2018.

SANTANA, E. *Quilombolas denunciam mortes de milhares de peixes em lagoa da BA*. G1, Salvador, 08 nov. 2012. Disponível em: <http://g1.globo.com/bahia/noticia/2012/11/quilombolas-denunciam-mortes-de-milhares-de-peixes-em-lagoa-da-ba.html>. Acesso em: 06 abr. 2020.

SANTOS, J. C. N.; ANDRADE, E. M.; ARAÚJO NETO, J. R.; MEIRELES, A. C. M.; PALÁCIO, H. A. Q. Land use and trophic state dynamics in a tropical semi-arid reservoir. *Revista Ciência Agronômica*, v. 45, p. 35-44, 2014.

SCHNEIDER, S. C.; BIBERDŽIĆ, V.; BRAHO, V.; GJORESKA, B. B.; CARA, M.; DANA, Z.; ĐURAŠKOVIĆ, P.; ERIKSEN, T. E.; HJERMANN, D.; IMERI, A.; JOVANOVIĆ, K.; KRIZMANIĆ, J.; KUPE, L.; LOSHKOSKA, T.; KEMP, J. L.; MARKOVIĆ, A.; PATCEVA, S.; RAKOČEVIĆ, J.; STOJANOVIĆ, K.; TALEVSKA, M.; TRAJANOVSKA, S.; TRAJANOVSKI, S.; VELJANOSKA-SARAFILOSKA, E.; VIDAKOVIĆ, D.; ZDRAVESKI, K.; ŽIVIĆ, I.; VERMAAT, J. E. Littoral eutrophication indicators are more closely related to nearshore land use than to water nutrient concentrations: A critical evaluation of stressor-response relationships. *Science of the Total Environment*, v. 748, 2020.

SOUZA, M. M; GASTALDINI, M. C. C. Avaliação da qualidade da água em bacias hidrográficas com diferentes impactos antrópicos. *Eng Sanit Ambient*, Rio de Janeiro, v. 19 n. 3, p. 263-274, 2014.

SPERLING, M. V. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 3. ed. Minas Gerais: Editora da UFMG, 2005.

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, SMEWW, 22nd Ed. Washington: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, 2012.

TOLEDO JR. A. P.; TALARICO, M. C.; AGUDO, S. J.; GARCIA, E. *A aplicação de modelos simplificados para a avaliação do processo de eutrofização em lagos e reservatórios tropicais*. São Paulo: CETESB, 1983.

TRENTMAN, M. T.; TANK, J. L.; ROYER, T. V.; SPEIR, S. L.; MAHL, U. H.; SETHNA, L. R. Cover crops and precipitation influence soluble reactive

phosphorus losses via tile drain discharge in an agricultural watershed. *Hydrological Processes*, v. 34, p. 4446-4458, 2020.

TUNDISI, J. G; MATSUMURA TUNDISI, T. *Limnologia*. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

VARGAS, R. R.; BARROS, M. S.; SAAD, A. R.; ARRUDA, R. O. M; AZEVEDO, F. D. Assessment of the water quality and trophic state of the Ribeirão Guaraçau Watershed, Guarulhos (SP): a comparative analysis between rural and urban areas. *Ambi Agua*, Taubaté, v. 13, n. 2, p. 1-13, 2018.

WALTON, C. R; ZAK, D.; AUDET, J.; PETERSEN, R. J.; LANGE, J.; OEHMKE, C.; WICHTMANN, W.; KREYLING, J.; GRYGORUK, M.; JABLONSKA, E.; KOTOWSKI, W.; WISNIEWSKA, M. M.; ZIEGLER, R.; HOFFMANN, C. C. Wetland buffer zones for nitrogen and phosphorus retention: Impacts of soil type, hydrology and vegetation. *Science of the Total Environment*, v. 727, 2020.

WANG L.; LIU, L.; ZHENG, B. Eutrophication development and its key regulating factors in a water-supply reservoir in North China. *Journal of Environmental Sciences*. v. 25, p. 962-970, 2013.

WIEGAND, M. C.; PIEDRA, J. I. G.; ARAÚJO, J. C. et al. Vulnerabilidade à eutrofização de dois lagos tropicais de climas úmido (Cuba) e semiárido (Brasil). *Eng Sanit Ambient*, Rio de Janeiro, v. 21, n. 2, p. 415-424, 2016.

YAN, D.; XU, H.; LAN, J.; YANG, M.; WANG, F.; HOU, W.; ZHOU, K.; NA, Z. Warming favors subtropical lake cyanobacterial biomass increasing. *Science of The Total Environment*, v. 726, 2020.

APENDICE A – Índice do Estado Trófico

O Índice do Estado Trófico proposto por Lamparelli (2004) foi difundido pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – Cetesb e vem sendo utilizado para avaliar corpos hídricos em diversos estados brasileiros, como reportado por Bem, Braga e Azevedo (2013) no Paraná, Bucci e Oliveira (2014) em Minas Gerais, Araújo, Mendonça e Reis (2018) no Espírito Santo e Lopes *et al.* (2019) na Bahia.

Neste método são previstas equações específicas para ambientes lóticos e lênticos, sendo que em ambos os casos o IET é o resultado da média entre os índices calculados para o fósforo e para a clorofila total (Equação 1).

As Equações 2 e 3 são utilizadas para avaliar o IET de rios e demais ambientes lóticos, enquanto as Equações 4 e 5 foram propostas para avaliar reservatórios, mas vem sendo empregadas para avaliar outros ambientes lênticos, como o lago do rio Barigui em Curitiba, PR relatado por Bem, Braga e Azevedo (2013).

$$IET = \frac{IET(Cl\ a) + IET(P_t)}{2} \quad (1)$$

$$IET(Cl\ a) = 10x(6 - (\frac{-0,7 - 0,6x(\ln Cl\ a)}{\ln 2})) - 20 \quad (2)$$

$$IET(P_t) = 10x(6 - (\frac{0,42 - 0,36x(\ln P_t)}{\ln 2})) - 20 \quad (3)$$

$$IET(Cl\ a) = 10x(6 - (\frac{-0,92 - 0,34x(\ln Cl\ a)}{\ln 2})) \quad (4)$$

$$IET(P_t) = 10x(6 - (\frac{1,77 - 0,42x(\ln P_t)}{\ln 2})) \quad (5)$$

Onde:

P_t = concentração de fósforo total, em $\mu\text{g.L}^{-1}$;

$Cl\ a$ = concentração de clorofila a, em $\mu\text{g.L}^{-1}$;

\ln : Logaritmo natural.

As equações resultam das relações estabelecidas entre as variáveis estudadas por Lamparelli (2004) em sua tese, bem como nos padrões de

qualidade estabelecidos. Assim, a partir dos resultados obtidos pelas equações é possível classificar o estado trófico dos corpos hídricos, lóticos e lênticos, conforme se observa nos Quadros 4 e 5, respectivamente.

Quadro 4 – Classificação do IET para rios

Categoria (Estado Trófico)	Ponderação	Fósforo Total (mg. m ⁻³)	Clorofila a (mg. m ⁻³)
Ultraoligotrófico	IET≤47	P≤13	CL≤0,47
Oligotrófico	47<IET≤52	13<P≤35	0,74<CL≤1,31
Mesotrófico	52<IET≤59	35<P≤137	1,31<CL≤2,96
Eutrófico	59<IET≤63	137<P≤296	2,96<CL≤4,70
Supereutrófico	63<IET≤67	296<P≤640	4,70<CL≤7,46
Hipereutrófico	IET>67	P>640	CL>7,46

Fonte: Lamparelli (2004)

Quadro 5 – Classificação do IET para reservatórios

Categoria (Estado Trófico)	Ponderação	Fósforo Total (mg. m ⁻³)	Clorofila a (mg. m ⁻³)
Ultraoligotrófico	IET≤47	P≤8	CL≤1,17
Oligotrófico	47<IET≤52	8<P≤19	1,17<CL≤3,24
Mesotrófico	52<IET≤59	19<P≤52	3,24<CL≤11,03
Eutrófico	59<IET≤63	52<P≤120	11,03<CL≤30,55
Supereutrófico	63<IET≤67	120<P≤233	30,55<CL≤69,05
Hipereutrófico	IET>67	P>233	CL>69,05

Fonte: Lamparelli (2004)

Justifica-se o emprego de equações e consequentemente classificações distintas para corpos hídricos lóticos e lênticos, pois neste último as condições são mais propícias a eutrofização, tendo maior sensibilidade ao aporte de nutrientes, como o fósforo, por exemplo. De acordo com Vargas *et al.* (2018), os rios e riachos embora não apresentem condições favoráveis à eutrofização, devido a fatores como velocidade e turbidez alta, podem contribuir para que este fenômeno se desenvolva nos ambientes lênticos por eles alimentados. Segundo Lin *et al.* (2020) os corpos hídricos

afluentes se constituem na principal fonte de transporte de poluentes para os lagos.

A partir dos quadros 4 e 5 verifica-se que os corpos hídricos da categoria ultraoligotrófica possuem os menores valores de fósforo total, enquanto os que pertencem à última categoria, hipereutrófica, possuem os maiores valores deste parâmetro. Portanto, quanto maior o grau de trofia, maior a concentração de nutrientes no corpo hídrico e consequentemente maior a produtividade primária, refletida por meio de maiores valores de clorofila a (BRAGA *et al.*, 2005). O Quadro 6 apresenta um resumo das principais características comumente existentes em cada uma das categorias do estado trófico.

Quadro 6 – Categorias do estado trófico.

Categoria	Concentração de nutrientes	Produtividade	Prejuízo aos usos múltiplos
Ultraoligotrófico	Insignificante	Muito baixa	Inexistente
Oligotrófico	Baixa	Baixa	Inexistente
Mesotrófico	Moderada	Intermediária	Baixo
Eutrófico	Alta	Alta	Alto
Supereutrófico	Elevada	Elevada	Alto
Hipereutrófico	Máxima	Excessiva	Bastante alto

Fonte: ANA (2017); Inema (2013); Lamparelli (2004); Lin *et al.* (2020); Tundisi e Tundisi (2008)

Corpos hídricos mesotróficos representam um baixo prejuízo aos usos múltiplos. A partir da classificação eutrófica este prejuízo já é considerado alto. Uma vez que, conforme já citado, um dos objetivos da Resolução Conama nº 357 é classificar os corpos d'água visando atender aos usos preponderantes atuais e futuros, o quadro 7, a partir dos limites de fósforo total e clorofila a, apresenta uma comparação entre essa normativa, considerando águas doces e a classificação proposta por Lamparelli (2004) para o estado trófico.

De acordo como o artigo 13 da Resolução Conama nº 357/05, para os corpos hídricos de classe especial deverão ser mantidas as condições naturais, não havendo assim estabelecido valores máximos para os parâmetros que compõem o IET. Estes valores máximos também não foram referenciados para os corpos hídricos classe 4, por isso não foram apresentados no Quadro 9 (CONAMA, 2005).

É possível inferir que a Resolução Conama nº 357/05 não faz distinção entre corpos hídricos lóticos e lênticos no que se refere a limites para clorofila a. Apesar disso, os estados tróficos destes diferentes ambientes não coincidem ainda que pertençam a mesma classe. Por exemplo, rios classe 2, segundo a concentração de clorofila a estabelecida na Resolução ($10 \mu\text{g.L}^{-1} \leq \text{Cl a} \leq 30 \mu\text{g.L}^{-1}$), conforme a classificação proposta por Lamparelli (2004), seriam considerados hipereutróficos ($\text{Cl a} \geq 7,47 \mu\text{g.L}^{-1}$), enquanto lagoas com o mesmo intervalo de concentração poderiam ser classificadas entre mesotróficas ($3,24 \mu\text{g.L}^{-1} < \text{Cl a} \leq 11,03 \mu\text{g.L}^{-1}$) e eutróficas ($11,03 \mu\text{g.L}^{-1} < \text{Cl a} \leq 30,55 \mu\text{g.L}^{-1}$).

Quadro 7 – Valores máximos permitidos na Resolução CONAMA nº 357/05 para os parâmetros que compõem o IET

Parâmetro / Classe		Classe 1	Classe 2	Classe 3
Clorofila a	Lótico	$Cl\ a \leq 10 \mu\text{g.L}^{-1}$ Ultraoligotrófico a Hipereutrófico	$10 \mu\text{g.L}^{-1} \leq Cl\ a \leq 30 \mu\text{g.L}^{-1}$ Hipereutrófico	$30 \mu\text{g.L}^{-1} \leq Cl\ a \leq 60 \mu\text{g.L}^{-1}$ Hipereutrófico
	Lêntico	$Cl\ a \leq 10 \mu\text{g.L}^{-1}$ Ultraoligotrófico a Mesotrófico	$10 \mu\text{g.L}^{-1} \leq Cl\ a \leq 30 \mu\text{g.L}^{-1}$ Mesotrófico a Eutrófico	$30 \mu\text{g.L}^{-1} \leq Cl\ a \leq 60 \mu\text{g.L}^{-1}$ Eutrófico a Supereutrófico
Fósforo total	Lótico	$P\ total \leq 0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ Ultraoligotrófico a Mesotrófico	$P\ total \leq 0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ Ultraoligotrófico a Mesotrófico	$0,1 \text{ mg.L}^{-1} \leq P\ total \leq 0,15 \text{ mg.L}^{-1}$ Mesotrófico a Eutrófico
	Lêntico	$P\ total \leq 0,02 \text{ mg.L}^{-1}$ Ultraoligotrófico a Mesotrófico	$0,02 \text{ mg.L}^{-1} \leq P\ total \leq 0,03 \text{ mg.L}^{-1}$ Mesotrófico	$0,03 \text{ mg.L}^{-1} \leq P\ total \leq 0,05 \text{ mg.L}^{-1}$ Mesotrófico

Fonte: Conama (2005) e Lamparelli (2004)