



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

OZIEL RODRIGUES PEDROSA

**AVALIAÇÃO DO USO DA ÁGUA E DO SOLO NO ENTORNO DO
RESERVATÓRIO PIRAPAMA PARA GARANTIA HÍDRICA DA POPULAÇÃO DA
REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE**

Recife

2021

OZIEL RODRIGUES PEDROSA

**AVALIAÇÃO DO USO DA ÁGUA E DO SOLO NO ENTORNO DO
RESERVATÓRIO PIRAPAMA PARA GARANTIA HÍDRICA DA POPULAÇÃO DA
REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Profa. Dra. Maria do Carmo Martins Sobral

Coorientadora: Profa. Dra. Érika Alves Tavares Marques

Recife

2021

OZIEL RODRIGUES PEDROSA

**AVALIAÇÃO DO USO DA ÁGUA E DO SOLO NO ENTORNO DO
RESERVATÓRIO PIRAPAMA PARA GARANTIA HÍDRICA DA POPULAÇÃO DA
REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovada em: 07 / 05 / 2021.

BANCA EXAMINADORA

Profª. Dra. Maria do Carmo Martins Sobral (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Wanderli Rogério Moreira Leite (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Profª. Dra. Érika Alves Tavares Marques (Examinador Externo)
Companhia Brasileira de Trens Urbanos

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os membros do Grupo de Gestão Ambiental da UFPE, coordenado pela professora Maria do Carmo Sobral que me introduziu no mundo das pesquisas acadêmicas e me orientou no desenvolvimento desse trabalho juntamente com minha coorientadora Érika Marques. Por fim, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para meu processo de formação, a todos o meu muito obrigado.

RESUMO

A Bacia Hidrográfica do Rio Pirapama passou por um processo de urbanização acelerada e desordenada após a criação do Distrito Industrial no município do Cabo nos anos 1960 e da construção do Porto de Suape na década de 70. Com o intuito de alavancar a economia local, do Estado e da Região Nordeste e atraindo um contingente populacional para os municípios adjacentes, estes empreendimentos aumentaram a demanda pelos recursos naturais, e gerando diversas alterações na bacia. O objetivo deste estudo é avaliar o uso da água e do solo no entorno do reservatório Pirapama para garantia hídrica da população da Região Metropolitana do Recife de forma a propor medidas de gestão e uso sustentável da água. Para fazer a caracterização da qualidade da água do reservatório Pirapama foram escolhidos os indicadores Índice de Qualidade de Água (IQA) e Índice de Estado Trófico (IET) que foram calculados a partir dos parâmetros fósforo total, coliformes totais, oxigênio dissolvido, pH, nitrogênio total, turbidez, demanda bioquímica de oxigênio (DBO_{5,20}), sólidos totais e clorofila-a entre 15.03.2017 a 02.10.2019. A água bruta no entorno do reservatório Pirapama variou entre boa e ótima qualidade, com destaque para os anos de 2018 e 2019 que apresentaram amostras com IQA acima de 80 e obtiveram classificação constante de ótima qualidade. Os dados analisados apresentaram valores de IET variando entre 57 e 48 unidades de IET apresentando-se como Mesotrófico, com exceção de um pequeno período entre os meses de novembro e dezembro de 2017 em que o corpo hídrico foi classificado como Oligotrófico. A Bacia do Pirapama possui forte tendência à produção de sedimentos, favorecendo o assoreamento. Embora a qualidade de água do reservatório Pirapama no geral seja boa durante o período de estudo, a avaliação integrada aponta a deficiência de saneamento básico, o lançamento de efluentes industriais sem tratamento adequado, o descarte de resíduos sólidos sem tratamento, e o uso de agrotóxicos e fertilizantes químicos decorrentes da cultura temporária da cana-de-açúcar e da policultura, comprometendo a qualidade da água da bacia em alguns locais.

Palavras-chave: gestão ambiental; recursos hídricos; qualidade de água.

ABSTRACT

The Pirapama River Basin underwent a process of accelerated and disordered urbanization after the creation of the Industrial District in the municipality of Cabo in the 1960s and the construction of the Port of Suape in the 1970s. In order to leverage the local economy, the State and the Northeast Region and a population contingent for the adjacent municipalities, these ventures increased the demand for natural resources and generated several changes in the basin. The objective of the study is to evaluate the use of water and soil in the vicinity of the Pirapama reservoir to guarantee water to the population of the Metropolitan Region of Recife in order to achieve proportions of management and sustainable use of water. To characterize the water quality of the Pirapama reservoir, Water Quality Index (IQA) and Trophic State Index (EIT) indicators were chosen, which were calculated from the parameters total phosphorus, total coliforms, dissolved oxygen, pH, nitrogen total, turbidity, biochemical oxygen demand (BOD_{5,20}), total solids and chlorophyll-a between 03.15.2017 to 02.10.2019. The raw water in the surroundings of the Pirapama reservoir varied between good and excellent quality, with emphasis on the years 2018 and 2019, which presented with IQA above 80 and obtained a constant classification of excellent quality. Parallel data EIT values varying between 57 and 48 EIT units configured as Mesotrophic, with the exception of a short period between the months of November and December 2017 that the water body was classified as Oligotrophic. The Pirapama basin has a strong tendency to produce sediments, favoring silting. Although the quality of the water of Pirapama reservoir in general is good during the study period, an integrated assessment points to the deficiency of basic sanitation, the release of industrial effluents without proper treatment, the disposal of solid waste without treatment, and the use of pesticides and chemical fertilizers resulting from the temporary culture of sugar cane and polyculture, compromising the water quality of the basin in some places.

Keywords: environmental management; water resources; water quality.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Mapa de localização da Bacia do Rio Pirapama, posição do reservatório e mananciais	16
Quadro 1 -	Demanda pela água nos municípios situados na Bacia Hidrográfica do Rio Pirapama	17
Figura 2 -	Precipitações médias mensais na Bacia do Rio Pirapama	18
Figura 3 -	Variação temporal do volume no reservatório Pirapama durante o período de estudo	22
Figura 4 -	Variação temporal da temperatura da água durante o período de estudo	23
Figura 5 -	Variação da precipitação da água no reservatório Pirapama durante o período de estudo	24
Figura 6 -	Variação do fósforo total no reservatório Pirapama durante o período de estudo	26
Figura 7 -	Variação dos Coliformes termotolerantes no reservatório Pirapama durante o período de estudo	27
Figura 8 -	Variação temporal do Oxigênio dissolvido durante o período de estudo	28
Figura 9 -	Variação temporal do pH no reservatório Pirapama no período de estudo	29
Figura 10 -	Variação da clorofila-a no reservatório Pirapama durante o período de estudo	30
Figura 11 -	Variação da turbidez no reservatório Pirapama durante o período de estudo	31
Figura 12 -	Variação da DB05,20 no reservatório Pirapama durante o período de estudo	32
Quadro 2 -	Classificação do IQA segundo a CETESB (2017)	33
Figura 13 -	Variação do IQA no reservatório Pirapama entre 15.03.2017 a 02.10.2019	34
Quadro 3	Classificação do Estado Trófico para rios segundo Índice de Carlson Modificado conforme a CETESB (2017)	35
Figura 14 -	Variação do IET no reservatório Pirapama entre 15.03.2017 a 02.10.2019	36
Figura 15 -	Uso do solo na AID e na APP do reservatório de Pirapama	37
Figura 16	Uso do solo na AID e na APP do reservatório de Pirapama	37

Figura 17	Uso e ocupação do solo e divisão político-administrativa na bacia de contribuição do Reservatório Pirapama	38
Figura 18 -	Degradação ambiental na barragem do Pirapama	39
Figura 19 -	Comparação do índice NDVI no Reservatório Pirapama em março/12 (a) e em setembro/11 (b)	41
Figura 20 -	Conflitos de uso e ocupação do solo nas APPs do Reservatório do Pirapama em 2018	41
Figura 21 -	Agenda 21 da Bacia do Rio Pirapama	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Varição do volume do reservatório Pirapama entre 2017 e 2019	23
Tabela 2 -	Varição da precipitação durante o período de estudo	24
Tabela 3 -	Parâmetros físico químico no reservatório Pirapama durante o período de estudo	25
Tabela 4 -	IQA no entorno do reservatório Pirapama durante o período de estudo	33
Tabela 5 -	Parâmetros para o cálculo do IQA	35
Tabela 6 -	Carga poluidora orgânica potencial e remanescente total na Bacia do Pirapama	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AID	Área de Influência Direta
AII	Área de Influência Indireta
ANA	Agência Nacional de Águas
APAC	Agência Pernambucana da Água e Clima
APP	Área de Preservação Permanente
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
COMPESA	Companhia Pernambucana de Saneamento
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CL	Clorofila-a
CPRH	Agência Estadual de Meio Ambiente
IQA	Índices de Qualidade da Água (IQA)
IET	Índice de Estado Trófico
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
CPTEC	Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos
MVP	Máximo Valor Permitido
NDVI	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
NMP	Número Mais Provável
PT	Concentração de fósforo total
RMR	Região Metropolitana do Recife
SECTMA	Secretaria de Ciência Tecnologia e Meio Ambiente
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
UNT	Unidades Nefelométricas
UP	Unidade de Planejamento
USGS	<i>United States Geological Survey</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO	13
1.2	OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.2	CARACTERIZAÇÃO DE ATRIBUTOS BIOFÍSICOS E QUALIDADE DE ÁGUA	14
2.3	ASSOREAMENTO DO RESERVATÓRIO	15
3	MATERIAIS E MÉTODOS	16
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA BACIA DO RIO PIRAPAMA	16
3.2	CARACTERIZAÇÃO CLIMATOLÓGICA E HIDROLÓGICA	18
3.3	CARACTERIZAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	19
3.4	IDENTIFICAÇÃO DE ATIVIDADES ECONÔMICAS	20
3.5	ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA	20
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
4.1	SITUAÇÃO HIDROLÓGICA DO RESERVATÓRIO	22
4.2	CONDIÇÕES CLIMATOLÓGICAS	23
4.3	PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E BIOLÓGICOS	25
4.3.1	Fósforo Total	26
4.3.2	Coliformes Fecais	27
4.3.3	Oxigênio Dissolvido (OD)	28
4.3.4	Potencial Hidrogeniônico (pH)	29
4.3.5	Clorofila-a	30
4.3.6	Turbidez	31
4.3.7	Demanda Bioquímica de Oxigênio	32
4.4	QUALIDADE DA ÁGUA (IQA E IET)	33
4.4.1	Índice de Qualidade de Água (IQA)	33
4.4.2	Índice de Estado Trófico (IET)	34
4.5	USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	36
4.6	IMPACTOS DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA QUALIDADE DA ÁGUA DA BACIA DO RIO PIRAPAMA	39
4.7	GOVERNANÇA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO PIRAPAMA	43
4.8	MEDIDAS MITIGADORAS	46
5	CONCLUSÃO	48
	REFERÊNCIAS	50

1 INTRODUÇÃO

A gestão da água é a base para o desenvolvimento das populações, sendo o planejamento da gestão deste recurso de fundamental importância para minimizar os conflitos pelos múltiplos usos e garantir a sustentabilidade. No Brasil, os grandes rios desempenham papel importante no desenvolvimento econômico do país e estão entre os ecossistemas mais fragmentados que existem, sendo a maioria barrados por reservatórios (OLIVEIRA, 2010).

O Rio Pirapama é uma das principais fontes de recursos para o abastecimento d'água da Cidade do Recife, desde 1918, com a construção da barragem do Gurjaú, seu principal afluente, primeira adutora de água para o Recife (SANTOS et al., 2013). Estudos realizados pela Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), na década de 1980, revelaram o Rio Pirapama como principal manancial potencial para atender às demandas metropolitanas. O Plano Diretor de Abastecimento d'Água da Região Metropolitana do Recife de 1986, ratificou a necessidade de utilização do Rio Pirapama para o suprimento da demanda por água para abastecer tal região. A partir de então, foi projetada a Barragem Pirapama (CPRH, 2001).

Com o passar dos anos, diversas atividades antrópicas, como por exemplo, a expansão urbana e as atividades agropecuárias desenvolvidas na região ocorreram em um período em que as informações técnicas não eram tão disseminadas, ou seja, em um momento em que não havia tanta preocupação em relação à conservação da água e de outros recursos naturais. Esse tipo de ocupação, sem um planejamento adequado e sem a preocupação com o meio ambiente, que perdura até os dias atuais, gera diversas pressões sobre o meio natural, desencadeando problemas como a degradação dos recursos hídricos e a redução da capacidade de abastecimento, por exemplo (JUNIOR et al., 2013).

De acordo com Aparecido et al. (2016) as atividades humanas em bacias hidrográficas (rurais ou urbanas) provocam alterações expressivas na dinâmica da água, podendo reduzir a disponibilidade dos mananciais pelo assoreamento. Esse processo, que ocorre naturalmente, pode ser potencializado pela combinação de chuvas de elevadas intensidades e manejo inadequado dos solos, facilitando a ação erosiva (MEISTER et al., 2017).

Nesse contexto, o manejo integrado dos recursos hídricos deve-se apresentar como um processo de desenvolvimento coordenado, que envolva a gestão das águas e a articulação com o planejamento e ordenamento do uso da terra, integrando aspectos técnicos, econômicos, ambientais e sociais (JUNIOR et al., 2013).

Desta forma, estudos e investigações científicas voltadas para o entendimento dos processos ocupação populacional, industrial e desenvolvimento econômico frente às alterações

em bacias hidrográficas, permitem auxiliar na preservação dos recursos hídricos e, conseqüentemente, no desenvolvimento das regiões.

1.1 JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO

Os dados de volume e qualidade de água no reservatório Pirapama são fundamentais para garantia hídrica da Região Metropolitana do Recife (RMR). No entanto, é possível observar que a Bacia Hidrográfica do Rio Pirapama enfrenta uma degradação ambiental generalizada associada ao processo de ocupação e desenvolvimento de atividades econômicas em condições precárias, isso resulta em pontos de poluição por esgoto doméstico e retirada desordenada de água.

Associado a isso, existe também uma demanda crescente por água tratada para abastecimento. Portanto, justifica-se o estudo e caracterização da situação atual dessa área de estudo para desenvolver mecanismos de gestão de modo a garantir volume e qualidade de água disponível para abastecer a população.

1.2 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

Avaliar o uso da água e do solo no entorno do reservatório Pirapama para garantia hídrica da população da Região Metropolitana do Recife de forma a propor medidas de gestão e uso sustentável da água.

Como objetivos específicos pode-se listar:

- Avaliar a qualidade e quantidade de água distribuída para população;
- Caracterizar o uso e ocupação do solo na área de estudo;
- Identificar e caracterizar as atividades econômicas;
- Analisar o impacto do uso e ocupação do solo na qualidade da água;
- Propor medidas de gestão e uso sustentável da água.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Esse item traz uma breve revisão bibliográfica sobre os principais temas abordados nesta pesquisa, como: Rio Pirapama, qualidade de água, dinâmica da erosão dos solos, análise das mudanças de uso e ocupação do solo por meio de geoprocessamento.

O Sistema Pirapama, é não só o maior sistema de abastecimento de água de Pernambuco, como também um dos maiores do Brasil. O eixo da barragem situa-se à montante da confluência do Rio Pirapama com o Rio Utinga de Cima, nas proximidades do Engenho Matapagipe. O projeto foi executado em três etapas, sendo a última finalizada em novembro de 2011. Inicialmente o sistema atendia apenas ao Complexo Industrial de Suape, e, a partir de 1983, passou a ter a configuração atual representando um incremento de 50% da produção de água da RMR. Pirapama equacionou um problema crônico de falta de água existente por mais de duas décadas, retirando vários bairros das cidades Recife, Jaboatão dos Guararapes, Cabo de Santo Agostinho do racionamento de água (COMPESA, 2016).

2.2 CARACTERIZAÇÃO DE ATRIBUTOS BIOFÍSICOS E QUALIDADE DE ÁGUA

A variação dos atributos biofísicos influencia diretamente na qualidade da água, a análise desses fatores é importante para estudos de qualidade ambiental de reservatórios (TUNDISI e MATSUMURA-TUNDISI, 2008). O uso e ocupação do solo de forma desordenada têm provocado a degradação dos corpos de água (DUPASA *et al.*, 2015, MENEZES *et al.*, 2016). Em longo prazo, os usos do solo podem afetar as características morfológicas e bioquímicas de reservatórios, o que se agrava com as mudanças no clima (CARNEY, 2009, HOUSER e RICHARDSON, 2010).

A relação entre os fatores regionais, tais como: temperatura, umidade e precipitação não contrastam de forma linear com qualidade dos corpos de água, o que torna um desafio separar seus efeitos sobre a qualidade hídrica (CARPENTER *et al.*, 2011). Neste contexto, uma abordagem ambiental e integrada no estudo dos corpos de água, em escala regional e local, utilizando-se inclusive de Sistemas de Informação Geográfica (SIGs), permite capturar padrões que tornam os recursos hídricos vulneráveis à degradação.

Além de contribuir com a maior parcela para o abastecimento da Região Metropolitana do Recife (RMR) - PE, Pirapama caracteriza-se pela ocupação urbana e industrial em sua bacia hidrográfica, por áreas cultivadas com cana-de-açúcar, policultura, além de remanescentes de Mata Atlântica. O Rio Pirapama recebe efluentes da indústria química, sucroalcooleira, bebidas,

minerais não-metálicos, mecânica, produtos alimentares, têxtil, matéria plástica e borracha (PERNAMBUCO, 2007).

2.3 ASSOREAMENTO DO RESERVATÓRIO

Com a construção de uma barragem e a conseqüente formação do seu reservatório é comum que se altere as condições naturais dos cursos d'água, logo, passa a existir deposição de sedimentos nesses cursos, podendo ser minimizado quando adotadas medidas de controle.

As barragens geram redução das velocidades da corrente, provocando a deposição gradual dos sedimentos carregados pelos cursos d'água e causando o assoreamento. Isso diminui gradativamente a capacidade de armazenamento do reservatório, podendo ocasionar problemas em relação à operação do aproveitamento do mesmo, além de problemas ambientais diversos (MEZINE et al., 2016).

O curso d'água, ao entrar no reservatório, tem as áreas de seções transversais aumentadas, enquanto as velocidades da corrente decrescem, criando condições de deposição de sedimentos. As partículas mais pesadas, como pedregulhos e areias grossas, são as primeiras a se depositar, enquanto o sedimento mais fino adentra ao reservatório. A barragem constitui um impedimento à passagem da maior parte das partículas para jusante, o que pode ocorrer com o escoamento pelo vertedouro e pelos condutos. À medida que o assoreamento cresce, a capacidade de armazenamento do reservatório diminui, a influência do remanso aumenta para montante, as velocidades no lago aumentam, e maior quantidade de sedimentos passa a escoar para jusante, diminuindo a eficiência de retenção das partículas (CARVALHO et al., 2000; BRONSVOORT, 2013).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

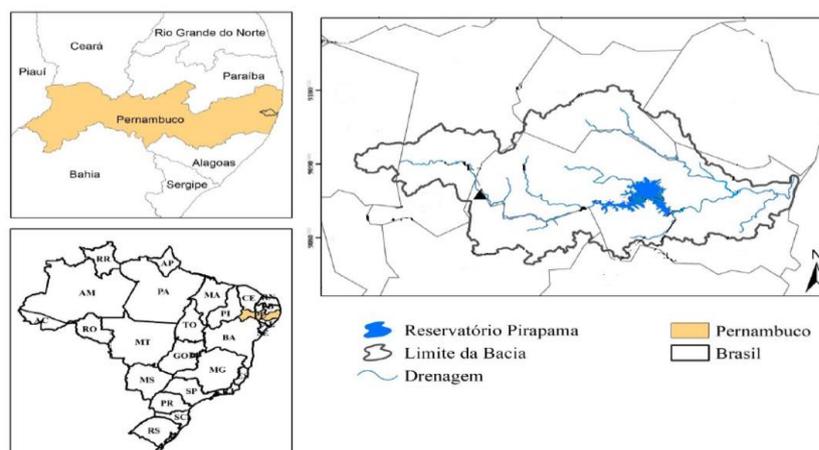
A metodologia desenvolvida buscou trazer dados de características geológicas da região de estudo, assim como dados climáticos e hidrológicos. Secundariamente buscou-se a caracterização dos classes de solo e o levantamento das atividades econômicas desenvolvidas.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA DO RIO PIRAPAMA

O Rio Pirapama tem sua bacia situada na porção Centro-Sul da Região Metropolitana do Recife (RMR) e na Zona da Mata Pernambucana. Essa bacia possui uma área de aproximadamente 600 km² com extensão de 80 km, cuja nascente localiza-se no município de Pombos, no Agreste de Pernambuco a 450 km de altitude. Suas águas desaguam no Rio Jaboatão, entre os municípios do Cabo de Santo Agostinho e Jaboatão dos Guararapes, e assim com o Rio Tapacurá é considerado ponto estratégico para o sistema de abastecimento de água da RMR (CPHR, 1998).

Conforme o Plano Estadual de Recursos Hídricos (SECTMA, 1998), a Bacia Hidrográfica do Rio Pirapama compõe a unidade de planejamento hídrica UP-15, do Grupo de Bacias GL-2, grupo que compõe pequenas bacias da região litorânea (Figura 1). A bacia é limitada com as bacias dos Rios Jaboatão e Tapacurá (afluente do Capibaribe) ao Norte e ao Sul com a Bacia do Rio Ipojuca, à Oeste com a Bacia do Rio Ipojuca e a Leste com o Oceano Atlântico. Os principais reservatórios existentes na bacia são o Pirapama, o Gurjaú e o Sicupema.

Figura 1- Mapa de localização da Bacia do Rio Pirapama, posição do reservatório e mananciais



Fonte: Autor (2021).

A Bacia abrange a área de sete municípios: Cabo de Santo Agostinho, Jaboatão dos Guararapes, Ipojuca e Moreno, inseridos na RMR; Vitória de Santo Antão, Escada e Pombos localizados na Zona da Mata Pernambucana. A distribuição da bacia nos municípios apresenta em ordem decrescente: Cabo de Santo Agostinho (57,2%), seguido por Moreno (13,7%), Escada (11,8%), Vitória de Santo Antão (9,5%), Pombos (4,3%) e Jaboatão dos Guararapes (2,4%) (Quadro 1). O município de Ipojuca ocupa apenas 1,1% da área da bacia (SANTOS e SILVA, 2015).

Quadro 1 - Demanda pela água nos municípios situados na Bacia Hidrográfica do Rio Pirapama

Município	Área (km ²)	Área (%)	IDHM (2010)	ESA (%)	População (2000-2010)	Demanda (%)
Cabo de Santo Agostinho	445,343	57,2	0,686	50,9	185.025	15,50
Escada	342,201	11,8	0,632	37,0	69.292	5,81
Ipojuca	521,801	1,1	0,619	50,6	80.637	6,76
Jaboatão dos Guararapes	258,724	2,4	0,717	45,4	644.620	54,02
Moreno	196,073	13,7	0,652	52,3	56.696	4,75
Pombos	239,876	4,3	0,598	66,1	27.148	2,27
Vitória de Santo Antão	335,942	9,5	0,640	63,3	129.974	10,89
Total	2.339,96	100	0,650 (média)	52,23 (média)	1.193.392	100

ESA – Esgotamento sanitário adequado; *População estimada para o ano de 2020.

Fonte: IBGE Cidades (2021).

O município do Cabo de Santo Agostinho possui a maior área percentual inserida na Bacia do Rio Pirapama (57,2%), contrastando com o município de Ipojuca (1,1%).

O IDH-M (Índice de Desenvolvimento Humano – Municipal) constitui-se atualmente num dos principais índices para aferir o grau de desenvolvimento de um município, tendo como algumas de suas principais virtudes o alto grau de comparabilidade e de objetividade. O IDH-M analisa as condições de vida a partir dos indicadores longevidade, educação e renda. O índice 0,500 é considerado pela UNESCO/ONU o ponto crítico, abaixo do qual configura-se situação crítica; de 0,500 a 0,799 registra-se um estágio médio de desenvolvimento; e acima de 0,799 configura-se um nível elevado de desenvolvimento humano.

Todos os municípios inseridos na Bacia do Rio Pirapama, apresentam um estágio médio de desenvolvimento, contudo, há uma grande disparidade entre os municípios, uma vez que o

maior IDH-M pertence ao município de Jaboatão dos Guararapes (0,717), enquanto Pombos apresentou o menor (0,598).

Os municípios são abastecidos por águas fornecidas por um conjunto de sistemas de rios que captam águas dos rios Gurjaú, Tapacurá, Botafogo, Sistemas do Complexo Industrial Portuário de Suape e de grandes poços. Os sistemas que abastecem os municípios que não estão inseridos na RMR: Pombos, Escada e Vitória de Santo Antão apresentam-se insuficientes para suprir a demanda atual, funcionam com intermitência, o que gera necessidade de reabilitações e ampliações para viabilizar um funcionamento mais eficiente (LEAL, 2003).

Segundo o Censo 2010, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021), com relação ao esgotamento sanitário adequado na Bacia do Pirapama, se destaca o município de Pombos (66,1%) enquanto Escada apresentou o menor desempenho (37%). A população total dos municípios que integram a Bacia do Pirapama é de 1.193.392 habitantes, dos quais, 84,4% residem em áreas urbanas. A maior demanda por água é gerada pela população do município de Jaboatão dos Guararapes que apresentou 644.620 habitantes (54,02%) e a menor demanda é gerada pela população de Pombos com 27.148 habitantes (2,27%).

3.2 CARACTERIZAÇÃO CLIMATOLÓGICA E HIDROLÓGICA

Os dados referentes à variação do volume do reservatório Pirapama foram fornecidos pela Agência Pernambucana da Água e Clima (APAC) por meio do site “<http://www.apac.pe.gov.br>” durante o período de estudo (2017 a 2019). De posse dos dados serão elaborados gráficos de volume de água armazenado no reservatório e níveis de precipitação (Volume x Precipitação).

Os dados referentes à variação climática na Bacia Hidrográfica do Rio Pirapama foram fornecidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/ Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (INPE/CPTEC) por meio do site “<http://www.cptec.inpe.br>” para o período de estudo (2017 a 2019).

A área de reservatório está situada na faixa intertropical com predominância de massas de ar equatoriais e tropicais carregadas de umidade. Segundo a classificação climática de Köppen, o clima da região do reservatório é do tipo As’ (pseudotropical), quente e úmido, tropical chuvoso com verão seco. A média mensal de temperatura varia entre 26°C e 28°C, enquanto a umidade relativa do ar é superior a 70% durante os meses de março a setembro (CPHR, 2003).

A Bacia Hidrográfica do Rio Pirapama, quanto ao regime de chuvas, possui dois períodos

bem definidos: seco, entre os meses de setembro a fevereiro, com precipitação média mensal menor do que 60 mm e evaporação que excede a precipitação; e chuvoso, entre os meses de março a agosto, no qual o balanço hidrológico geralmente é positivo (Figura 2). As médias anuais da precipitação e da evaporação na região ficam em torno de 1.500 mm e 1.200 mm, respectivamente (STRETTA, 2000).

Figura 2 - Precipitações médias mensais na Bacia do Rio Pirapama



Fonte: SANTOS e OTTONI (2018).

A capacidade do reservatório Pirapama é de 60.280.246 m³ (COMPESA, 2017).

3.3 CARACTERIZAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

A caracterização do uso e ocupação do solo será feita por meio de imagens de satélite obtidas junto ao USGS (*United States Geological Survey*) através do endereço eletrônico <http://earthexplorer.usgs.gov> e mapas de classes de solos dos órgãos responsáveis pela gestão e monitoramento dos recursos naturais tais como a APAC. Serão utilizadas imagens TM e OLI/LANDSAT – 7 e 8 respectivamente, nessa etapa serão buscadas imagens atuais do ano de 2020 e imagens de 2015 de forma à ilustrar a variação das classes de solo no entorno do reservatório Pirapama.

Posteriormente serão observados os mapas temáticos gerados pelas APAC com ênfase no NDVI que representa o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada para verificação da vegetação natural ou agrícola nas imagens geradas por sensores remotos.

3.4 IDENTIFICAÇÃO DE ATIVIDADES ECONÔMICAS

Para identificação dos aspectos socioeconômicos e ambientais na área de estudo, serão utilizados dados disponibilizados pelo Instituto de Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Serão levantados dados de evolução populacional, desenvolvimento econômico e social no período de janeiro de 2015 a dezembro de 2020.

Junto à Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) serão obtidos dados de ocupação e cobertura do solo, Área de Preservação Permanente (APP) do reservatório - faixa de 100 m a partir da cota máxima, em sua Área de Influência Direta (AID) - área com raio de 500 m e Área de Influência Indireta (AII).

3.5 ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA

Serão obtidos junto à APAC os parâmetros físico-químicos da água do reservatório de Pirapama no ano de 2020, através desses dados serão calculados os Índices de Qualidade da Água (IQA) e o Índice de Estado Trófico (IET).

O IQA é calculado pelo produtório ponderado das qualidades de água correspondentes às variáveis que integram o índice conforme a Equação 1.

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \text{ (Eq. 1)}$$

Onde:

- **IQA:** Índice de Qualidade das Águas, um número entre 0 e 100;
- **qi:** Qualidade do i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva “curva média de variação de qualidade”, em função de sua concentração ou medida e,
- **wi:** Peso correspondente ao i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade, sendo que: em que: n: número de variáveis que entram no cálculo do IQA.

No caso de não se dispor do valor de alguma das nove variáveis, o cálculo do IQA é inviabilizado. A partir do cálculo efetuado, pode-se determinar a qualidade das águas brutas, que é indicada pelo IQA.

O Índice do Estado Trófico tem por finalidade classificar corpos d’água em diferentes graus de trofia, ou seja, avalia a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo das algas e cianobactérias (CETESB 2013).

Nesse índice, os resultados correspondentes ao fósforo, IET(P) (Equação 2), devem ser entendidos como uma medida do potencial de eutrofização, já que este nutriente atua como o agente causador do processo. Na avaliação correspondente à clorofila a o IET(CL) (Equação 3)

por sua vez, deve ser considerado como uma medida da resposta do corpo hídrico ao agente causador, o mesmo indica de forma adequada o nível de crescimento de algas que tem lugar em suas águas.

$$IET (PT) = 10 \times \left(6 - \frac{1,77 - 0,42 \times \ln PT}{\ln 2} \right) \quad (\text{Eq. 2})$$

$$IET (CL) = 10 \times \left(6 - \frac{0,92 - 0,34 \times \ln CL}{\ln 2} \right) \quad (\text{Eq. 3})$$

- **PT:** Concentração de fósforo total medida à superfície da água, em $\mu\text{g.L}^{-1}$;
- **CL:** Concentração de clorofila a medida à superfície da água, em $\mu\text{g.L}^{-1}$;
- **ln:** logaritmo natural.

O resultado dos valores mensais, apresentados no Quadro 3, do IET será a média aritmética simples, com arredondamento da primeira casa decimal, dos índices relativos ao fósforo total e a clorofila a, segundo a Equação 4.

$$IET = \left(\frac{IET (PT) + IET (CL)}{2} \right) \quad (\text{Eq. 4})$$

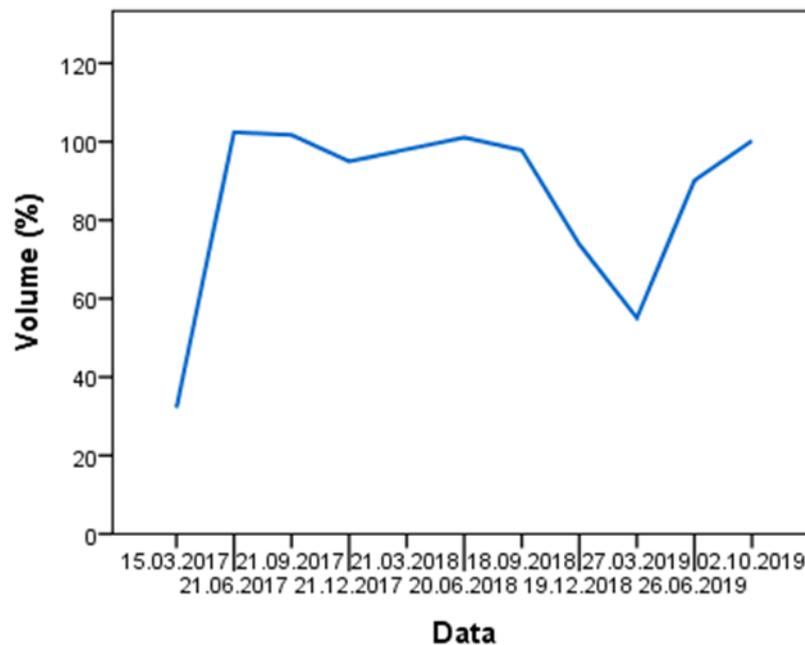
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos foram estratificados conforme metodologia apresentada, iniciando pelas condições hidrológicas, climatologias e os índices de qualidade da água e nível de trofia. Por fim são apresentados os dados geológicos e representadas as atividades econômicas desenvolvidas.

4.1 SITUAÇÃO HIDROLÓGICA DO RESERVATÓRIO

O Rio Pirapama, localizado na região tropical úmida, tem regime permanente, mas apresenta variação acentuada nos índices de escoamento quando de períodos secos ou chuvosos. Durante o período seco o volume do reservatório Pirapama variou entre 74% e 100% e durante o período chuvoso variou entre 32,14% e 100% (Figura 3 e Tabela 1).

Figura 3 - Variação temporal do volume no reservatório Pirapama durante o período de estudo



Fonte: Autor (2021).

Tabela 1 - Variação do volume do reservatório Pirapama entre 2017 e 2019

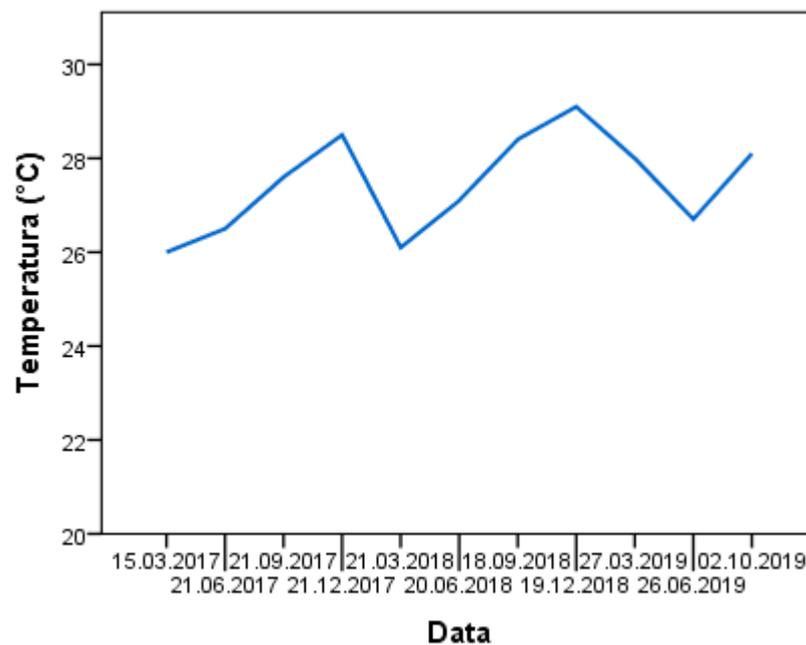
Data	Volume (m ³)	Volume (%)
15.03.2017	19.586.000	32,14
21.06.2017	62.385.550	102,38
21.09.2017	61.989.250	101,73
21.12.2017	57.762.050	94,79
21.03.2018	59.743.550	98,04
20.06.2018	61.592.950	101,08
18.09.2018	59.611.450	97,82
19.12.2018	44.997.600	73,84
27.03.2019	33.555.400	55,07
26.06.2019	52.564.640,25	90,11
02.10.2019	58.571.661,57	100,23

Fonte: Autor (2021).

4.2 CONDIÇÕES CLIMATOLÓGICAS

Durante o período seco a temperatura variou de 27,6 °C e 29,1 °C e durante o período chuvoso variou de 26 °C e 29 °C (Figura 4).

Figura 4 - Variação temporal da temperatura da água durante o período de estudo

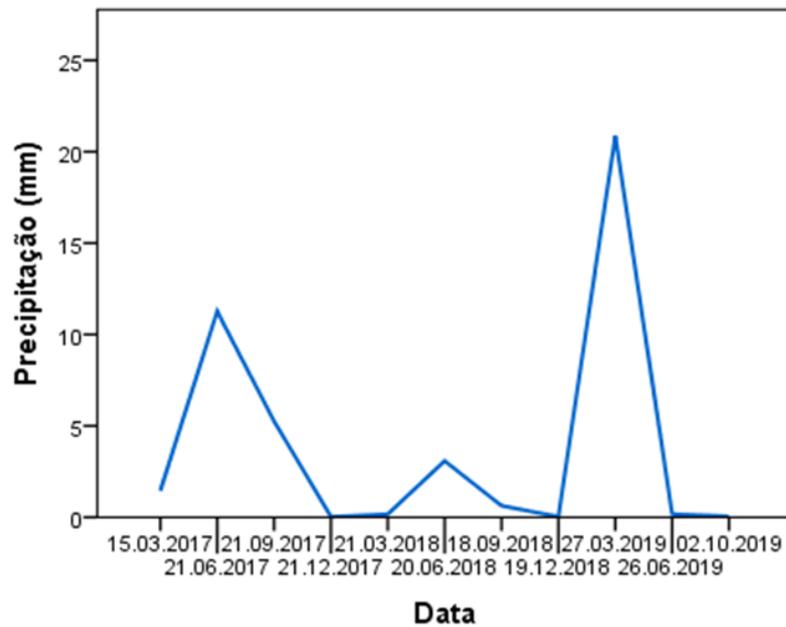


Fonte: Autor (2021).

O clima dominante na Bacia do Pirapama, é As' (Tropical chuvoso), com temperaturas médias elevadas (KÖPPEN, 1918). A Bacia do Rio Pirapama possui clima tropical úmido com precipitações que variam de 2.300 mm anuais no litoral a 1.300 mm na extremidade da área, onde se encontra sua nascente (GAMA, 2001).

A precipitação durante o período seco variou de 0,03 mm e 5,26 mm e durante o período chuvoso variou de 0,17 mm e 20,86 mm (Figura 5 e Tabela 2).

Figura 5 - Variação da precipitação da água no reservatório Pirapama durante o período de estudo



Fonte: Autor (2021).

Tabela 2 - Variação da precipitação durante o período de estudo

Data	Temperatura (°C)	Precipitação (mm)
15.03.2017	26,00	1,45
21.06.2017	26,50	11,27
21.09.2017	27,60	5,26
21.12.2017	28,50	0,03
21.03.2018	26,10	0,17
20.06.2018	27,10	3,08
18.09.2018	28,40	0,63
19.12.2018	29,10	0,03
27.03.2019	28,00	20,86
26.06.2019	26,70	0,17
02.10.2019	28,10	0,05

Fonte: Autor (2021).

4.3 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E BIOLÓGICOS

Com o intuito de avaliar a qualidade das águas superficiais encontradas no reservatório de Pirapama, foram extraídos em campo dados de medição no período de Março/2017 a Outubro/2019 conforme datas mostradas na Tabela 3. Uma vez que ainda não há estudo de enquadramento com base na Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005), o rio é considerado Classe II em sua totalidade para a referida resolução. A água do reservatório Pirapama é usada para abastecimento público, recepção de efluentes domésticos, recepção de efluentes industrial e agroindustrial.

Tabela 3 - Parâmetros físico químicos no reservatório Pirapama durante o período de estudo

PARÂMETRO	UNIDADE	CONAMA 357	DATA											MÉDIA
			15.03.2017	21.06.2017	21.09.2017	21.12.2017	21.03.2018	20.06.2018	18.09.2018	19.12.2018	27.03.2019	26.06.2019	02.10.2019	
Coli termotolerantes	NMP/100mL	$< \text{Log}_{10}(1000) = 3$	2,3	4,4	0,8	3,9	2,1	0,7	1,7	1,0	1,5	2,2	1,4	3,5
pH		Entre 6 e 9	7,90	7,20	8,20	7,90	7,40	6,50	7,60	8,80	7,60	7,20	7,40	7,61
DBO 5,20	mg.L ⁻¹	$\leq 5,00$	4,20	0,90	0,80	1,20	0,70	1,70	0,90	1,30	3,20	3,60	1,50	1,82
Nitrogênio total	mg.L ⁻¹	1,27												
Fósforo total	mg.L ⁻¹	$\leq 0,03^*$	0,02	0,06	0,05	0,01	0,02	0,03	0,04	0,04	0,03	0,09	0,04	0,04
Turbidez	UNT	≤ 100	3,00	35,00	15,00	3,00	2,50	20,00	3,00	2,00	4,00	55,00	15,00	14,32
Sólidos totais	mg.L ⁻¹	500		60,00	70,00	68,00	77,00	77,00	64,00	71,00	69,80	75,30	61,40	69,35
OD saturação	OD %	-				8,10	8,00	7,80	7,70	7,80	8,00			7,90
Fósforo total	mg.L ⁻¹	$\leq 0,03^*$	0,02	0,06	0,05	0,01	0,02	0,03	0,04	0,04	0,03	0,09	0,04	0,04
Clorofila-a	$\mu\text{g.L}^{-1}$	$\leq 30^*$	20,05	4,09	3,20	2,93		3,21	3,71		4,13	2,83	6,38	5,61
Temperatura	°C	40	26,00	26,50	27,60	28,50	26,10	27,10	28,40	29,10	28,00	26,70	28,10	27,46

* Ambiente lêntico

Fonte: Autor (2021).

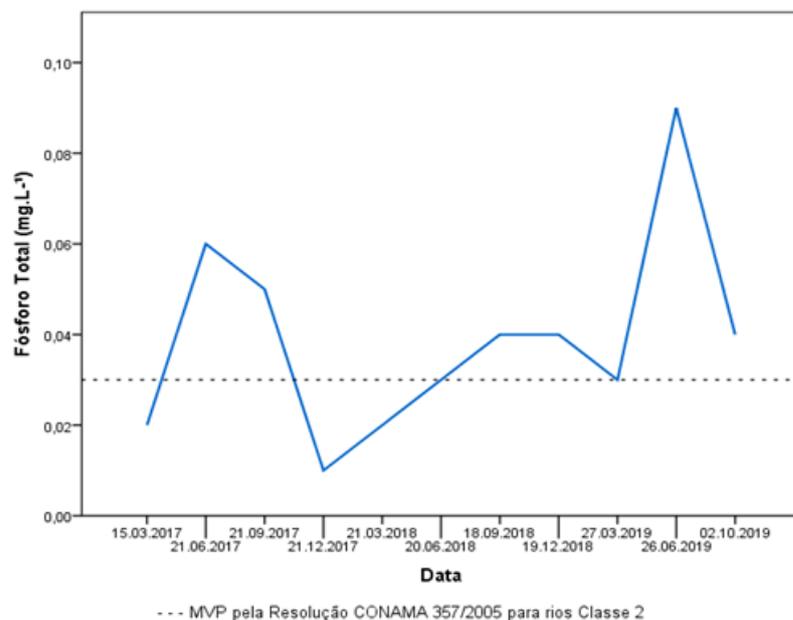
A coluna três da Tabela 3, apresenta os valores máximos aceitáveis de acordo com a Resolução n° 357, de 17 de março de 2005, do CONAMA. Os valores apresentados em vermelho correspondem aos pontos que apresentaram valor acima do ideal para a classe do rio. Entre os parâmetros submetidos a análise é possível destacar o indicador de coliformes fecais e fósforo total que apresentaram valores acima do permitido.

Os estudos de parâmetros físico-químicos da água são de grande importância para o conhecimento do ambiente e identificação dos padrões de variação das condições ambientais, tanto dentro dos rios e reservatórios como em seu entorno, e têm implicações nas características limnológicas como um todo (KALIKI, s.d.).

4.3.1 Fósforo Total

Segundo a Resolução do CONAMA para as águas doces de classe 2, é determinado o valor máximo para fósforo total em águas paradas de 0,03 mg/L (CONAMA, 2005), sendo assim observamos que as amostras de água coletadas se encontram com valores de fósforo muito acima do permitido chegando a apresentar 0,09 mg/L em junho de 2019. As exceções são os meses de março e dezembro de 2017 com 0,02 e 0,01 mg/L respectivamente (Figura 6).

Figura 6 - Variação do fósforo total no reservatório Pirapama durante o período de estudo



Fonte: Autor (2021).

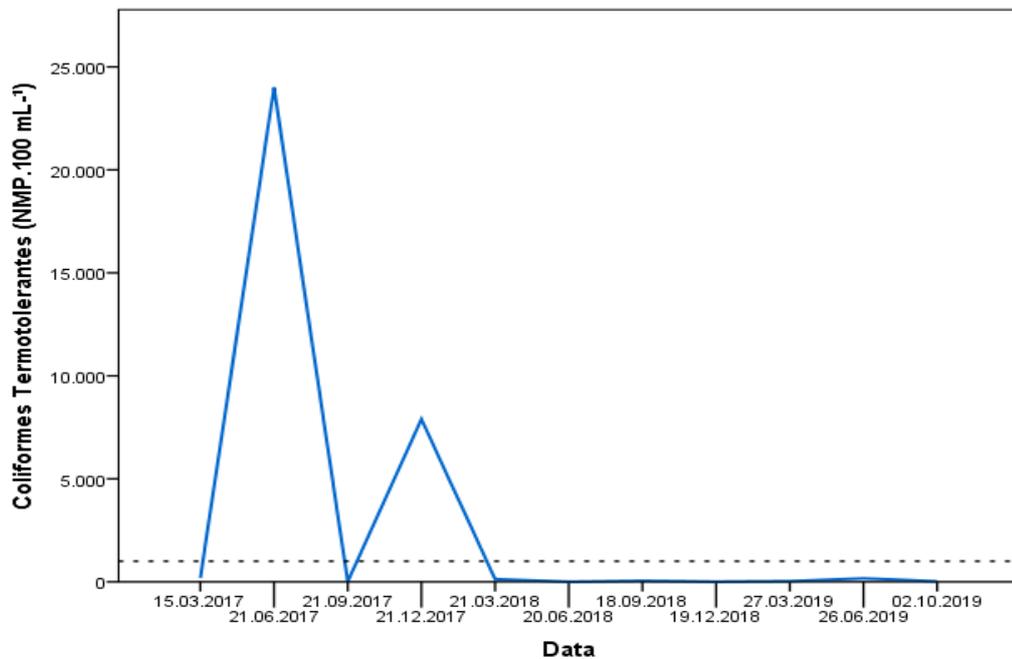
As águas da Bacia do Pirapama apresentavam em 2000 altos índices de poluentes, dentre eles o fósforo total, cujos níveis de até 0,15 mg/L estão bem acima do índice permitido pela Resolução nº 20 do CONAMA, que é de 0,025 mg/L para águas de Classe II (CPRH, 1999).

O fósforo é um importante nutriente para os processos biológicos, contudo seu excesso pode causar o crescimento excessivos de algas, processo conhecido como eutrofização, o que prejudica o abastecimento e a vida do meio. Porém ele em si não é um contaminante, uma vez que é encontrado naturalmente nas águas e é um elemento essencial para a vida aquática (proveniente de solos, plantas, matéria orgânica do próprio ecossistema aquático, etc.) (SPERLING, 1996), entretanto uma vez que o fósforo tenha origem em dejetos orgânicos e inorgânicos, pode indicar contaminação do corpo d'água e para tanto necessita de tratamento.

4.3.2 Coliformes Fecais

As águas doces de Classe 2 devem apresentar valores de até 1000 NMP/100 mL, os baixos valores determinados na medição de coliformes totais e fecais são bons indicadores da qualidade (Figura 7). No entanto, as amostras coletadas em junho e dezembro de 2017 apresentaram concentrações muito elevadas.

Figura 7 – Variação dos Coliformes termotolerantes no reservatório Pirapama durante o período de estudo



MVP pela Resolução CONAMA 357/2005 para rios Classe 2

Fonte: Autor (2021).

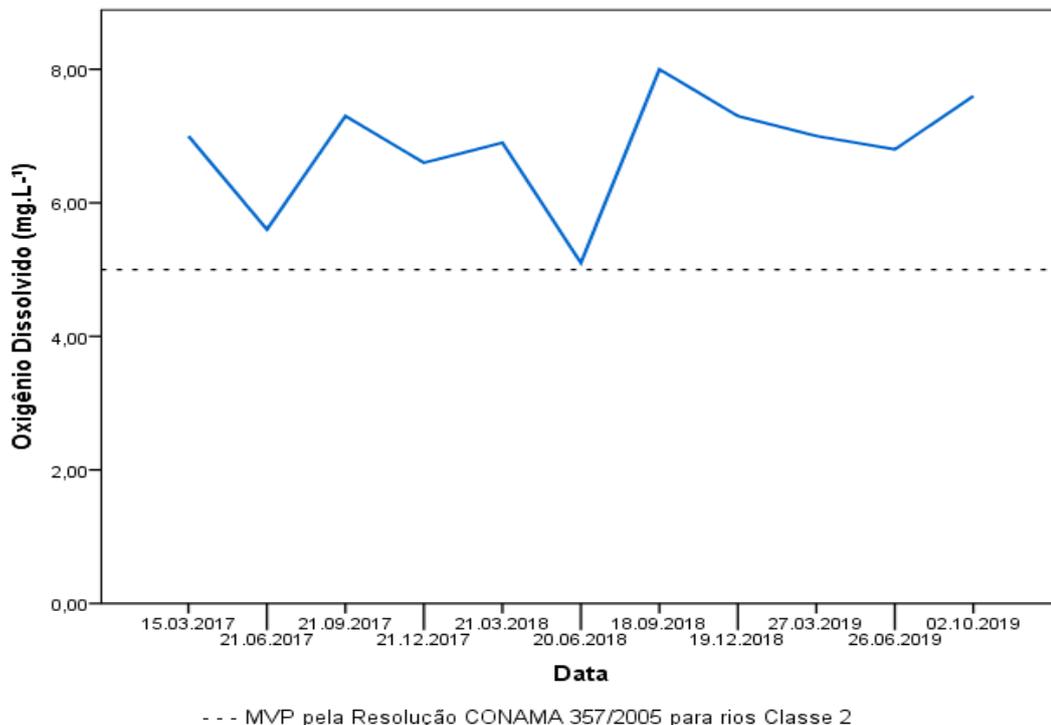
As bactérias coliformes fecais ocorrem naturalmente no trato intestinal de animais de sangue quente e são indicadoras de poluição por esgotos domésticos. Elas não são patogênicas, porém sua presença em grandes quantidades indicam a possibilidade da existência de microrganismos patogênicos que são responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica.

Os coliformes fecais também são conhecidos como coliformes termotolerantes, pois toleram temperaturas acima de 40°C e reproduzem-se nesta temperatura em menos de 24 horas. Pelo estudo da concentração dos coliformes nas águas pode-se estabelecer um parâmetro indicador da possível existência de micro-organismos patogênicos que são responsáveis por doenças de veiculação hídrica, tais como a febre tifóide, febre paratifóide, disenteria bacilar e cólera (KALIKI, s.d.).

4.3.3 Oxigênio Dissolvido (OD)

A Resolução N° 357, de 17 de março de 2005 diz que para o oxigênio dissolvido é necessário um valor mínimo de 5 mg/L. Todas as amostras analisadas apresentaram valores acima do valor mínimo, a coleta com menor concentração foi em junho de 2018 com 5,2 mg/L e máximo de 8 mg/L em setembro 2018 (Figura 8).

Figura 8 - Variação temporal do Oxigênio dissolvido durante o período de estudo



Fonte: Autor (2021).

A concentração de oxigênio presente na água vai variar de acordo com a pressão atmosférica (altitude) e com a temperatura do meio. Águas com temperaturas mais baixas têm maior capacidade de dissolver oxigênio; já em maiores altitudes, onde é menor a pressão atmosférica, o oxigênio dissolvido apresenta menor solubilidade (CETESB, 2021).

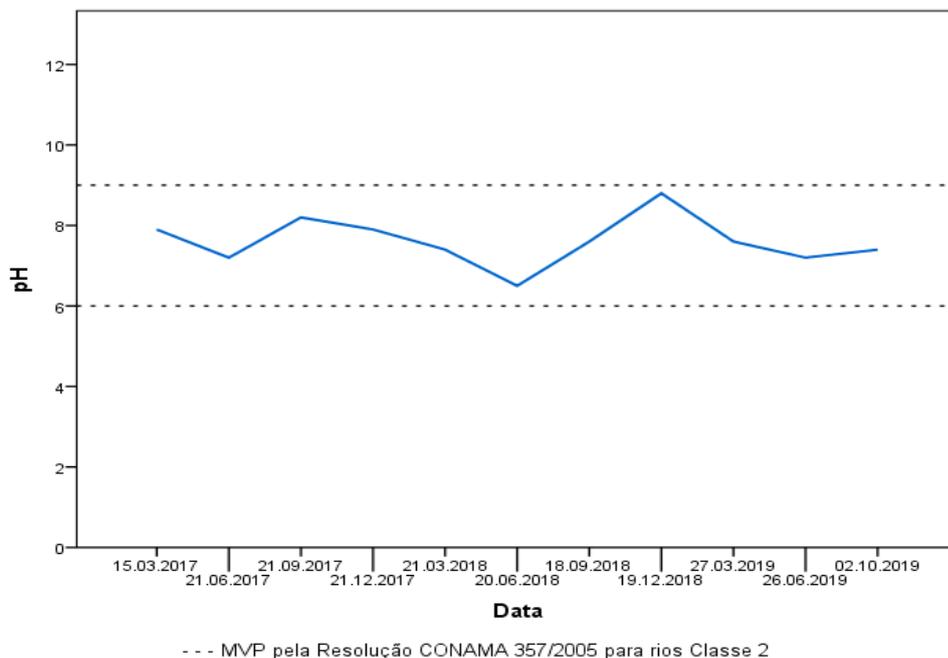
O oxigênio dissolvido pode sofrer perdas através de diversos processos como a elevação da temperatura da água, consumo pela decomposição da matéria orgânica (oxidação), perdas para a atmosfera, respiração de organismos aquáticos e a oxidação de íons metálicos (KALIKI, s.d.).

Segundo Arruda (2005), durante a construção da Barragem do Pirapama, entre os anos 2000 a 2002, a qualidade da água piorou para os parâmetros oxigênio dissolvido e demanda bioquímica de oxigênio (DBO) em decorrência das alterações ocorridas no rio durante as obras de instalação e enchimento no reservatório.

4.3.4 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH se manteve dentro dos padrões da Resolução N°357 do CONAMA, que deve estar no intervalo de 6,0 a 9,0. Os pontos extremos ocorreram em dezembro de 2018 com pH = 8,8 e Junho de 2018 com pH = 6,5 (Figura 9).

Figura 9 - Variação temporal do pH no reservatório Pirapama no período de estudo



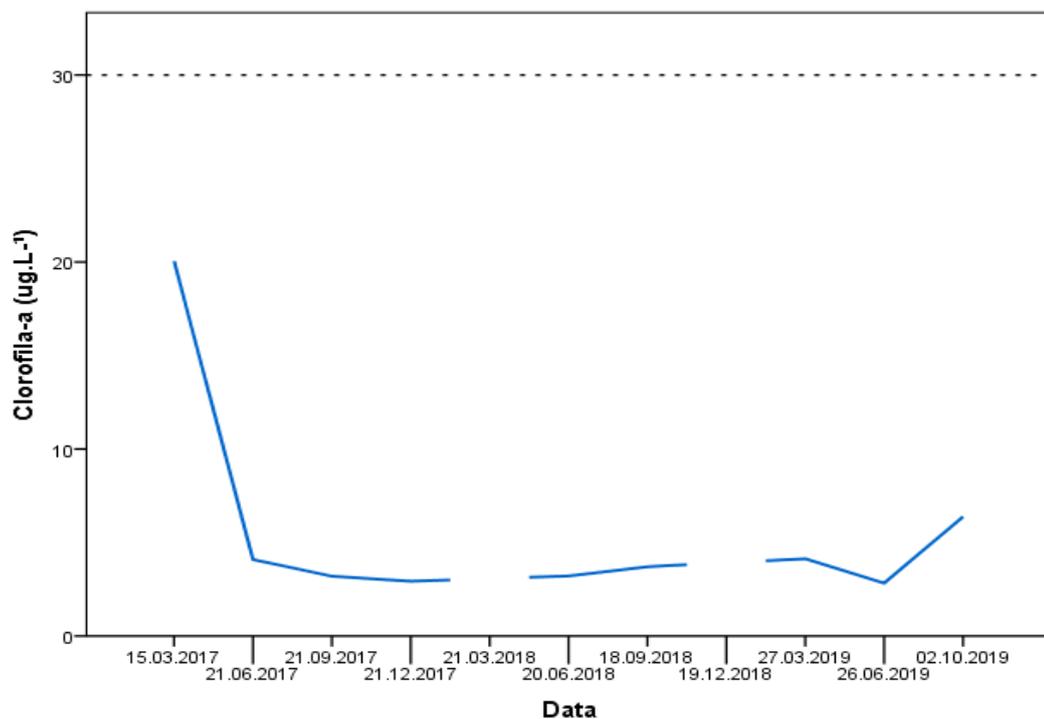
Fonte: Autor (2021).

O pH pode influir em diversos equilíbrios químicos que ocorrem naturalmente ou em processos unitários de tratamento de águas, vindo a se tornar um parâmetro importante em muitos estudos no campo do saneamento ambiental. Sua influência ainda pode ser direta e indireta. Nos ecossistemas aquáticos naturais, essa influência é direta devido a seus efeitos sobre a fisiologia de diversas espécies. Indiretamente, o pH influencia na precipitação de elementos químicos tóxicos, como metais pesados, ou em outras condições que possam exercer efeitos sobre a solubilidade de nutrientes (OLIVEIRA et al., 2014). Os corpos d'água encontrados na natureza em sua maioria possuem valores de pH na faixa de 4 a 9, sendo a maioria ligeiramente básico. O método de determinação do pH mais utilizado é o potenciométrico (KALIKI, s.d.).

4.3.5 Clorofila-a

Os índices de Clorofila-a devem estar abaixo dos 30 $\mu\text{g/L}$ conforme Figura 10. Para área de estudo foi verificado valores de acordo com a Resolução CONAMA, sendo os picos de 20 $\mu\text{g/L}$ em março de 2017 e 3,2 $\mu\text{g/L}$ em setembro de 2017 (Figura 10).

Figura 10 - Variação da clorofila-a no reservatório Pirapama durante o período de estudo



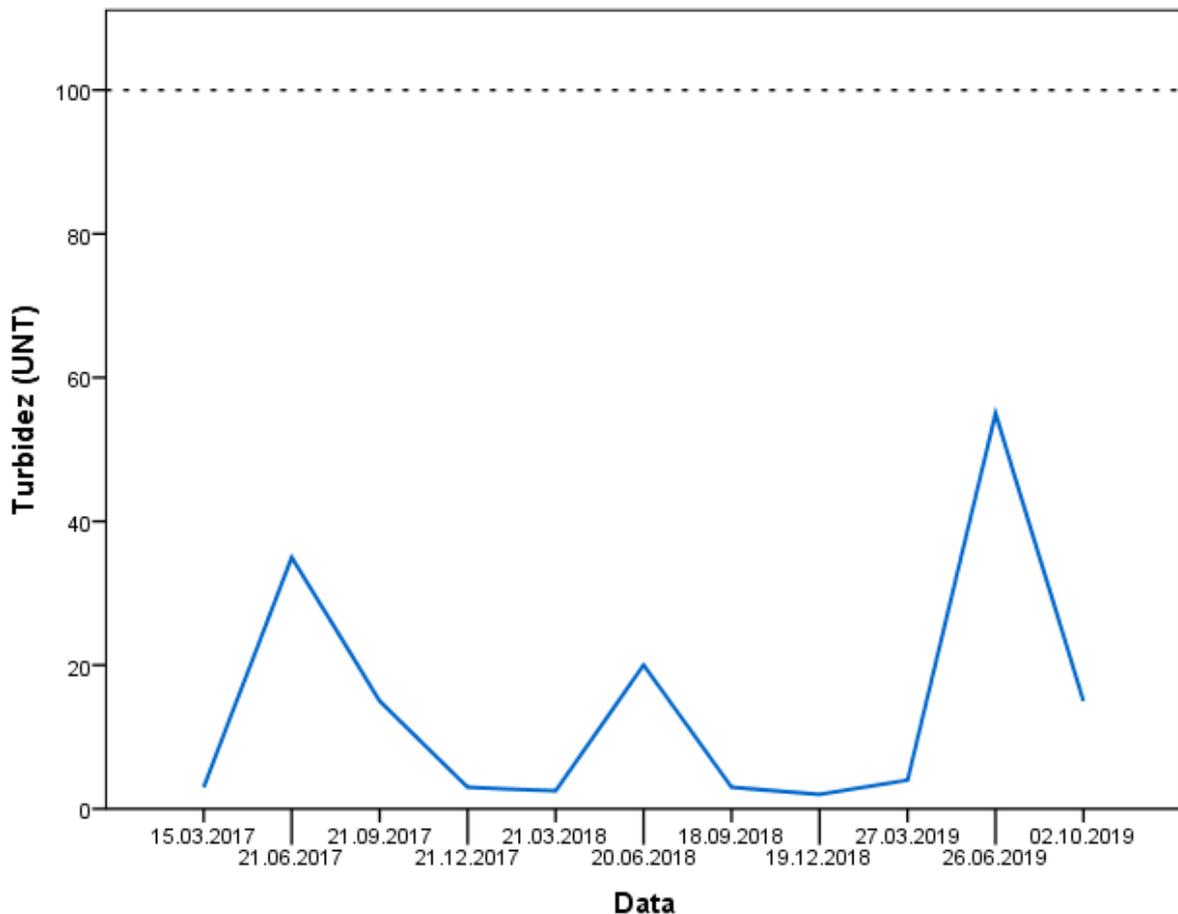
--- MVP pela Resolução CONAMA 357/2005 para rios Classe 2

Fonte: Autor (2021).

4.3.6 Turbidez

O parâmetro de Turbidez que mede a dificuldade de um feixe de luz atravessar um corpo de água deve estar abaixo de 100 unidades nefelométricas (UNT). Todas as amostras apresentaram valores de Turbidez abaixo do limite máximo, os maiores valores ocorreram em junho de 2017 com 35 UNT e junho de 2019 com 55 UNT (Figura 11).

Figura 11 - Variação da turbidez no reservatório Pirapama durante o período de estudo



--- MVP pela Resolução CONAMA para rios Classe 2

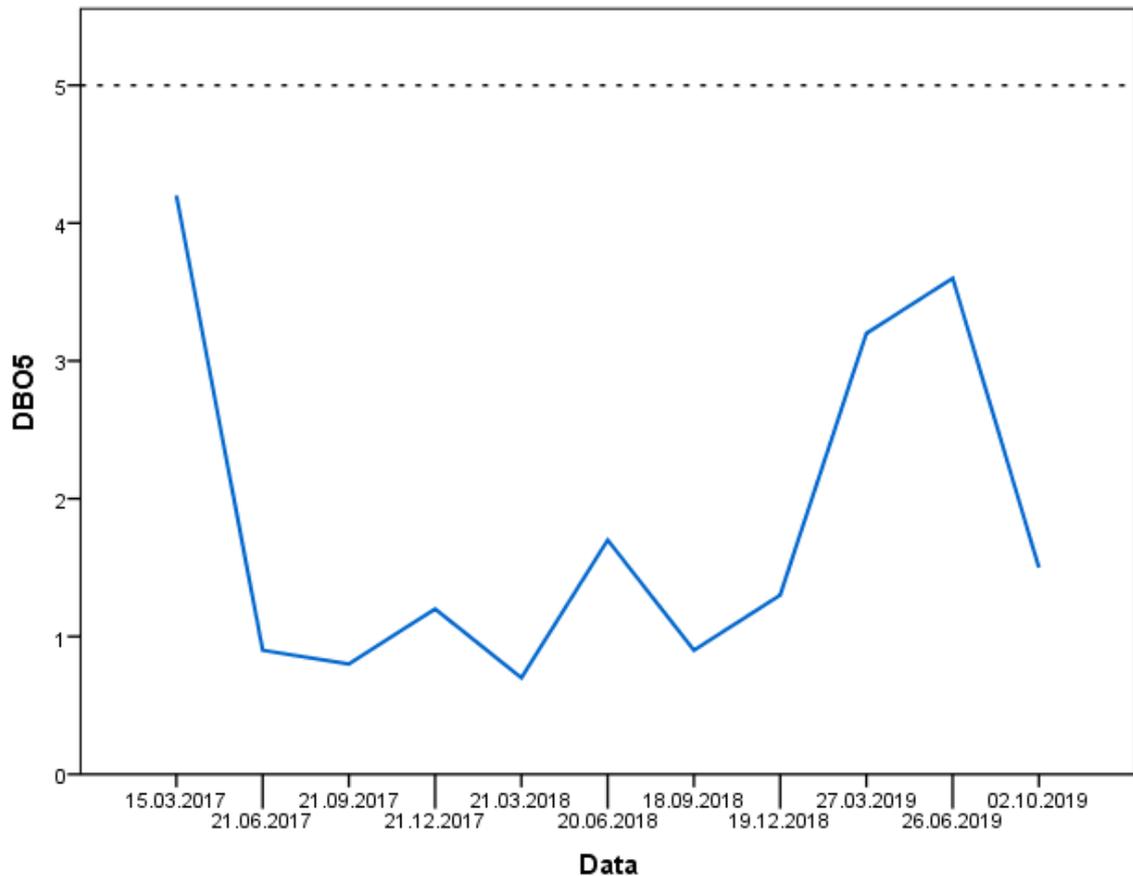
Fonte: Autor (2021).

A turbidez na água é causada por materiais em suspensão, como por exemplo, argila, silte, matéria orgânica e inorgânica finamente dividida, compostos orgânicos solúveis coloridos, plâncton e outros organismos microscópicos. O tamanho das partículas em suspensão varia dependendo do grau de turbulência do ambiente (KALIKI, s.d.).

4.3.7 Demanda Bioquímica de Oxigênio

A $DBO_{5,20}$ traz a medida da demanda de oxigênio presente no corpo hídrico. As amostras de água apresentaram maior demanda bioquímica de oxigênio nos períodos de março de 2017 e junho de 2019 com 4,2 e 3,6 mg/L, respectivamente (Figura 12).

Figura 12 - Variação da $DBO_{5,20}$ no reservatório Pirapama durante o período de estudo



--- MVP pela Resolução CONAMA 357/2005

Fonte: Autor (2021).

Os maiores aumentos da DBO em corpos d'água frequentemente estão associados a despejos de origem principalmente orgânica. O aumento do teor de matéria orgânica num corpo hídrico pode levar ao completo esgotamento do oxigênio na água, causando o desaparecimento de peixes e outras formas de vida (KALIKI, s.d.).

4.4 QUALIDADE DA ÁGUA (IQA E IET)

Os principais dados de análise da qualidade dos rios brasileiros são exatamente o IQA e IET, sendo eles representados abaixo para o reservatório Pirapama.

4.4.1 Índice de Qualidade de Água (IQA)

Segundo a ANA – Agência Nacional de Águas (2021), o Índice de Qualidade das Águas (IQA) trata-se de um indicador criado com o intuito de avaliar a qualidade da água utilizada com o fim de abastecimento público, sendo essa avaliação realizada após a execução de um tratamento convencional. Atualmente, o IQA é o índice de avaliação mais utilizado no Brasil, Os valores obtidos para região de estudo e classificados conforme Quadro 2 são apresentados na Tabela 4.

Quadro 2 - Classificação do IQA segundo a CETESB (2017)

Categoria	Ponderação
Ótima	$79 < IQA \leq 100$
Boa	$51 < IQA \leq 79$
Regular	$36 < IQA \leq 51$
Ruim	$19 < IQA < 36$
Péssima	$IQA \leq 19$

Fonte: Autor (2021).

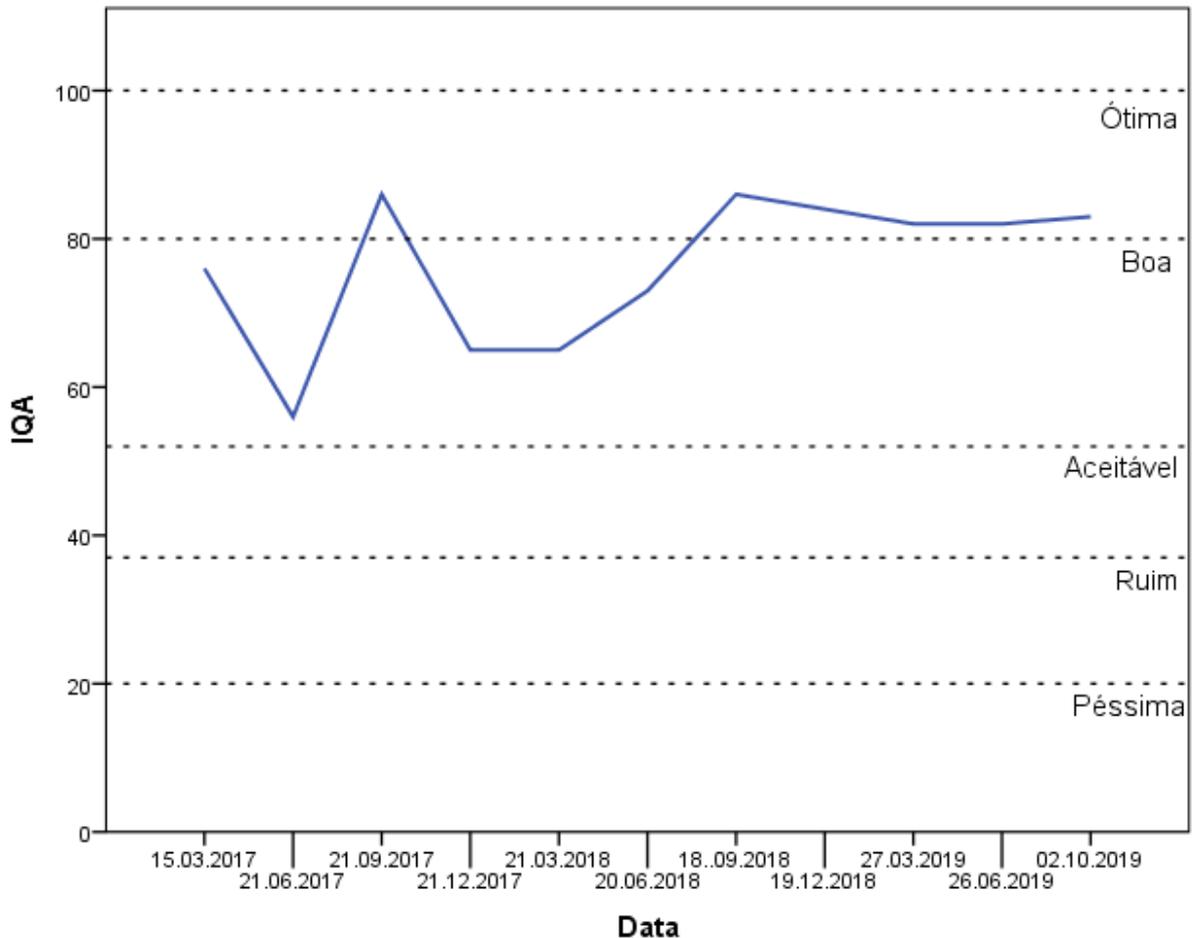
Tabela 4 - IQA no entorno do reservatório Pirapama durante o período de estudo

Data da Coleta	IQA Pirapama	Classificação
15/03/2017	76	Boa
21/06/2017	56	Boa
21/09/2017	86	Ótima
21/12/2017	65	Boa
21/03/2018	65	Boa
20/06/2018	73	Boa
18/09/2018	86	Ótima
19/12/2018	84	Ótima
27/03/2019	82	Ótima
26/06/2019	82	Ótima
02/10/2019	83	Ótima
Média	76,18	Boa
Máximo	86,00	Ótima
Mínimo	56,00	Boa

Fonte: Autor (2021).

A água bruta no entorno do reservatório Pirapama variou entre boa e ótima qualidade, com destaque para os anos de 2018 e 2019 que apresentou amostras com IQA acima de 80 e obteve classificação constante de ótima qualidade. Na Figura 13 é possível observar com clareza a aproximação linear da variação da qualidade da água.

Figura 13 - Variação do IQA no reservatório Pirapama entre 15.03.2017 a 02.10.2019



Fonte: Autor (2021).

4.4.2 Índice de Estado Trófico (IET)

O IET é calculado através da concentração de fósforo, que representa o potencial de eutrofização do corpo hídrico e da Clorofila-a que é uma resposta ao agente contaminante. A Resolução CONAMA determina que a concentração esteja menor ou igual que 0,03 mg/m³ para o fósforo e menor ou igual a 30 mg/L para Clorofila, através do índice de Carlson é possível estabelecer uma classificação conforme o Quadro 3.

Na Tabela 5 as concentrações de fósforo total das onze amostras analisadas apresentaram potencial de eutrofização acima do permitido chegando a 0,06 mg/L em junho de 2017. Em

contrapartida, a concentração de Clorofila-a apresentou valores ínfimos de concentração com exceção da amostra coletada em março de 2017 com 20,05 µg/L.

Os dados analisados apresentaram valores de IET variando entre 57 e 48 unidades de IET apresentando-se na classe Mesotrófico com exceção de um pequeno período entre os meses de novembro e dezembro de 2017 (Figura 14).

Quadro 3 - Classificação do Estado Trófico para rios segundo Índice de Carlson Modificado conforme a CETESB (2017)

Classificação do Estado Trófico – Rios			
Categoria (Estado Trófico)	Ponderação	P-Total – P (mg.m ⁻³)	Clorofila-a (mg.m ⁻³)
Ultra oligotrófico	IET ≤ 47	P ≤ 13	CL ≤ 0,74
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	640 < P	7,46 < CL

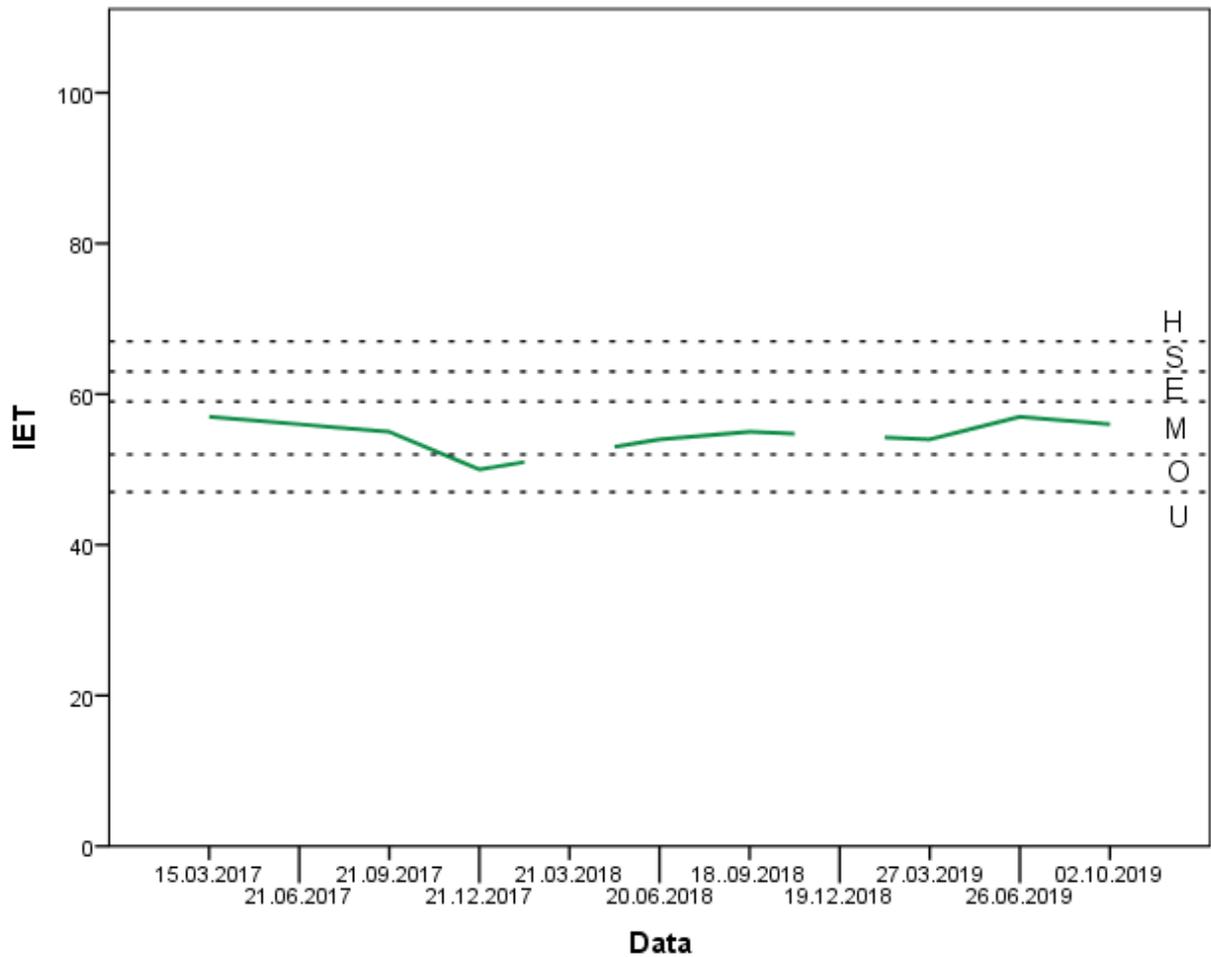
Fonte: Autor (2021).

Tabela 5 - Parâmetros para o cálculo do IQA

Parâmetro	Fósforo total	Clorofila-a
Unidade	mg.L ⁻¹	mg.L ⁻¹
CONAMA 357	≤ 0,03*	≤ 30*
15.03.2017	0,02	20,05
21.06.2017	0,06	4,09
21.09.2017	0,05	3,20
21.12.2017	0,01	2,93
21.03.2018	0,02	
20.06.2018	0,03	3,21
18.09.2018	0,04	3,71
19.12.2018	0,04	
27.03.2019	0,03	4,13
26.06.2019	0,09	2,83
02.10.2019	0,04	6,38
Média	0,04	5,61

Fonte: Autor (2021).

Figura 14 - Variação do IET no reservatório Pirapama entre 15.03.2017 a 02.10.2019



Fonte: Autor (2021).

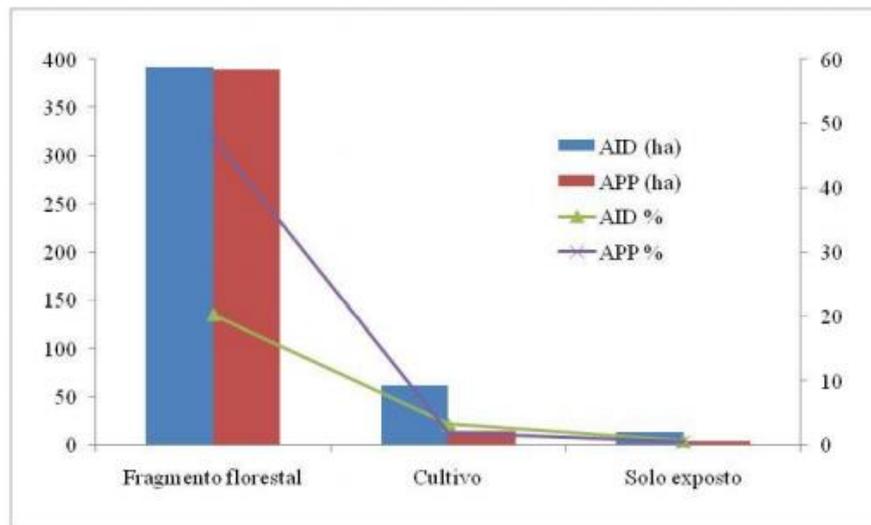
Embora a qualidade de Pirapama no geral seja boa durante o período de estudo, a avaliação integrada aponta a deficiência de saneamento básico, o lançamento de efluentes industriais sem tratamento adequado, o descarte de resíduos sólidos sem tratamento, e o uso de agrotóxicos e fertilizantes químicos decorrentes da cultura temporária da cana-de-açúcar e da policultura, comprometendo a qualidade da água da bacia em alguns locais.

4.5 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Quanto ao uso e ocupação do solo, a agricultura atinge a Área de Preservação Permanente (APP) e a Área de Influência Direta (AID) (Figura 15). A maior parte deste cultivo corresponde à cana-de-açúcar, embora também haja policulturas de subsistência. Em visita a campo, o odor percebido denuncia a disposição diretamente sobre o solo do vinhoto gerado nas atividades industriais como a cana-de-açúcar, assim como Moraes et al. (2008) constataram por

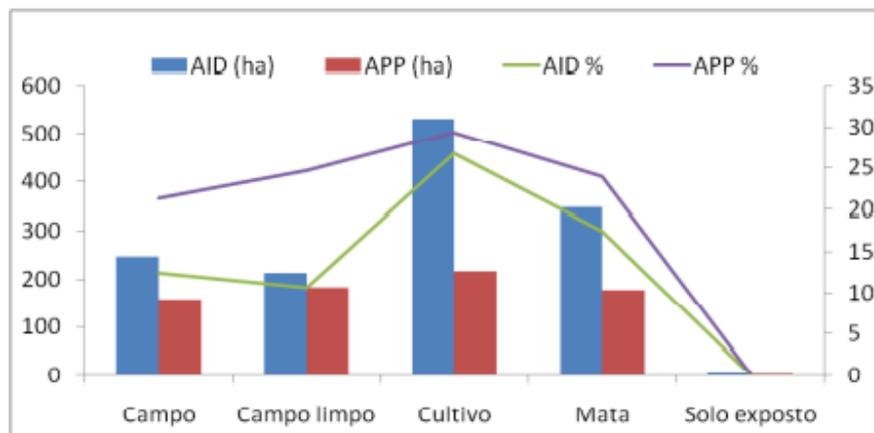
observação e por análise da qualidade da água. A classe de maior quantidade de hectares na AID foi identificada como sendo a de cultivo (Figura 16), a qual, em termos percentuais, possuiu maior representatividade na APP (LIMA FILHO, 2018).

Figura 15 - - Uso do solo na AID e na APP do reservatório de Pirapama



Fonte: LIMA FILHO (2018).

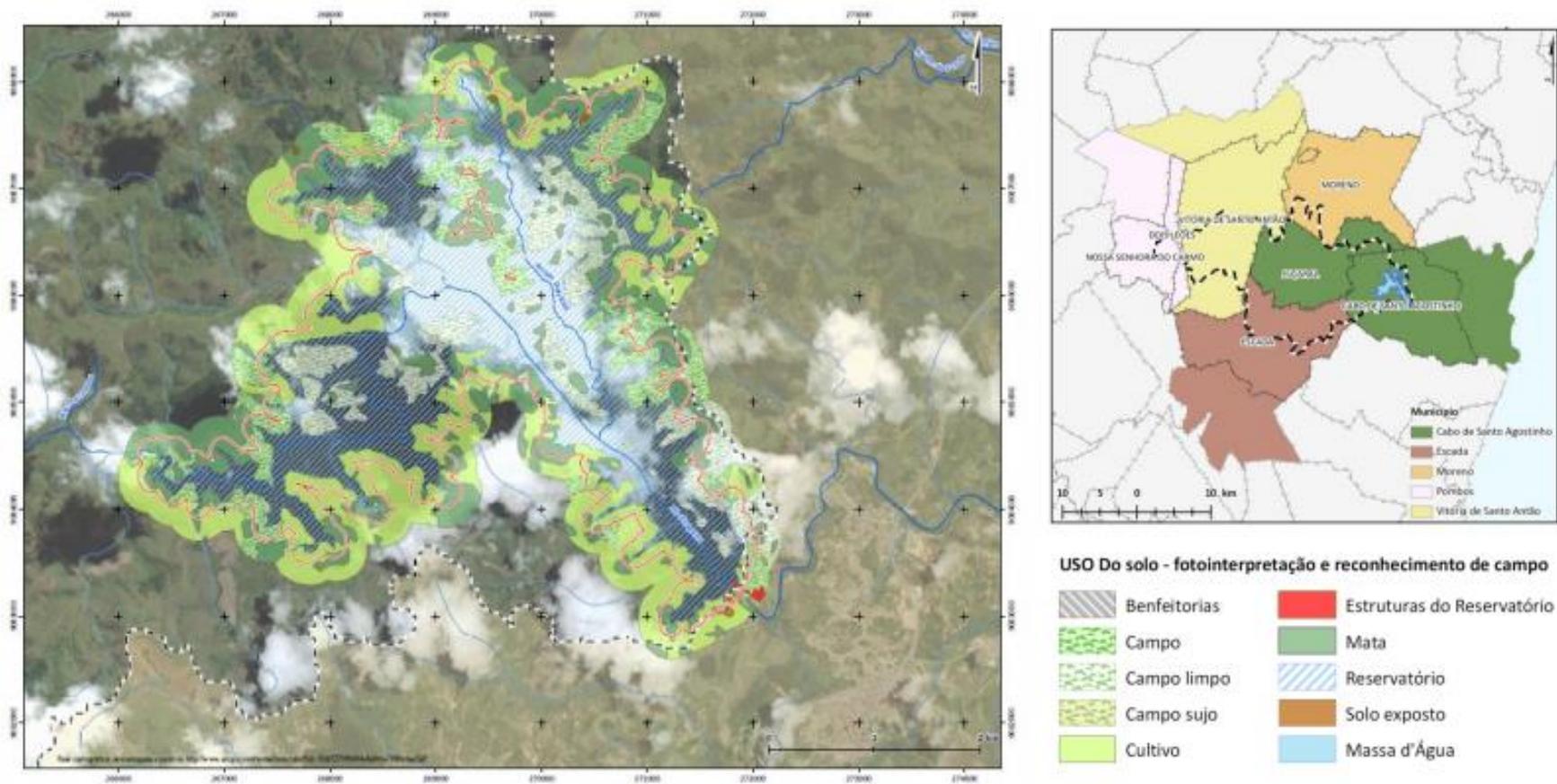
Figura 16 - Cultivo do solo na AID e na APP do reservatório de Pirapama



Fonte: LIMA FILHO (2018).

O uso e ocupação do solo da Bacia do Rio Pirapama é bastante diversificado (Figura 17), caracterizado pela ocupação urbana e industrial, fazendas e granjas, policultura (assentamentos rurais), e duas pequenas hidrelétricas, áreas de cultivo de cana-de-açúcar, mata atlântica e manguezais (SILVA & SANTOS, 2005). A agricultura é atividade agrícola predominante na Bacia do Pirapama e também a principal causa de conflito pelo uso do solo (SILVA, 2019).

Figura 17 - Uso e ocupação do solo e divisão político-administrativa na bacia de contribuição do Reservatório Pirapama



Fonte: APAC (2018).

4.6 IMPACTOS DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA QUALIDADE DA ÁGUA DA BACIA DO RIO PIRAPAMA

A partir da década de 50, a região da bacia se tornou palco de um processo de urbanização acelerada e desordenada diante dos cenários da criação do Distrito Industrial no município do Cabo nos anos 1960 e da construção do Porto de Suape na década de 70, ocasionando um importante fluxo de urbanização, quando um significativo número de moradores, vinculado às atividades rurais, foi indenizado, vindo a fixar-se nos núcleos urbanos da Sede e de Ponte dos Carvalhos (ARRUDA, 2005). As atividades industriais desenvolvidas na bacia são: química, sucroalcooleira, bebidas, minerais não-metálicos, mecânica, produtos alimentares, têxtil, matéria plástica e borracha (CPRH, 1998).

De acordo com a Assembleia Legislativa de Pernambuco (2017), a Frente Parlamentar de Revitalização do Rio São Francisco e demais Rios de Pernambuco, em visita ao Rio Pirapama, no município do Cabo de Santo Agostinho, no Grande Recife, constatou lixo, esgoto, assoreamento e construções irregulares (Figura 18). Esse problema tem sido cada vez mais agravado com o aumento da população residente as margens do rio, sem as condições necessárias de saneamento básico.

Figura 18 - Degradação ambiental na barragem do Pirapama



Fonte: TYBA (2014).

O cultivo da cana-de-açúcar é atividade agrícola predominante na Bacia do Pirapama, juntamente com essa atividade têm-se o contínuo desmatamento de remanescentes florestais no entorno da bacia, o que compromete o equilíbrio ambiental da área da bacia e também as atividades de policulturas, desenvolvidas pelos pequenos produtores rurais, constituem ameaça ao equilíbrio dos diferentes ecossistemas, pois compromete as margens, os córregos e rios e remanescentes de floresta (SILVA e GALVÍNCIO, 2009).

Na análise das imagens de 26/03/2012, final da época seca do ano, com uma das maiores reduções históricas de volume, denotaram-se manchas relativas a pequenas ilhas descobertas na massa de água, assim como áreas de macrófitas no entorno do reservatório. A localização das ilhas é importante para se avaliar questões de assoreamento. Os valores observados foram entre 0 e 0,20 para o NDVI, o que demonstra a elevada possibilidade de eutrofização (Figura 19) (LIMA FILHO, 2018).

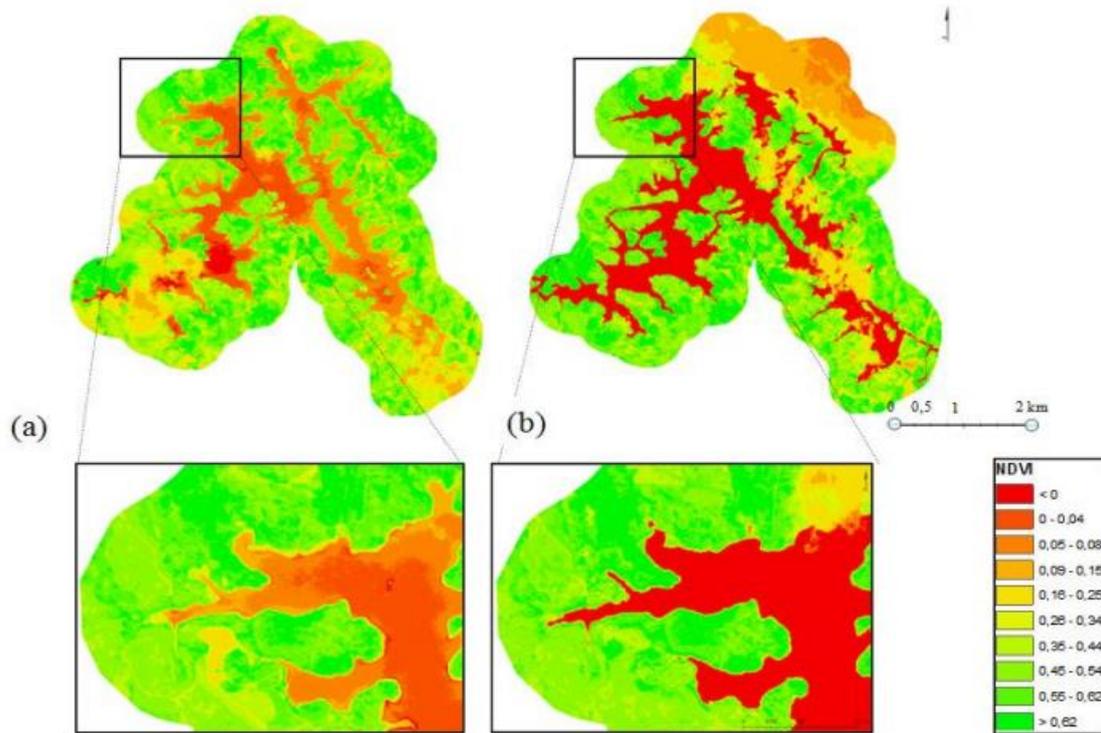
A utilização do solo sem critérios de ocupação e zoneamento pré-estabelecidos gera impactos consideráveis e favorece a degradação da qualidade das águas dos rios ao modificar os ciclos biogeoquímicos e hidrológicos, reduzindo a disponibilidade e a qualidade da água da bacia, o que acaba onerando o tratamento e colocando em risco a saúde da população em geral (ROSA, OLIVEIRA e SAAD, 2014).

Um dos maiores problemas que afetam a qualidade da água nos reservatórios é a eutrofização, que é causada pela qualidade excessiva de nutrientes, normalmente nitrogênio e fósforo, advindos em geral da utilização de fertilizantes na bacia hidrográfica do manancial e lançamento de esgotos domésticos para abastecimento (ARAÚJO, 2005). A eutrofização é o enriquecimento com nutrientes, principalmente o fósforo e nitrogênio, que são despejados de forma dissolvida ou particulada em lagos, represas e rios e são transformados em partículas orgânicas e matéria viva vegetal pelo metabolismo das plantas e microalgas (TUNDISI, 2003).

As Áreas de Preservação Permanente (formações florestais associadas a cursos d'água) são amplamente protegidas pela Legislação Ambiental Brasileira, que estabelece exigências diferenciadas para a cobertura vegetal destinada a proteger córregos, lagos, nascentes, margens de rios e reservatórios de água, conforme Código Florestal, sob a Lei nº 12.651/12.

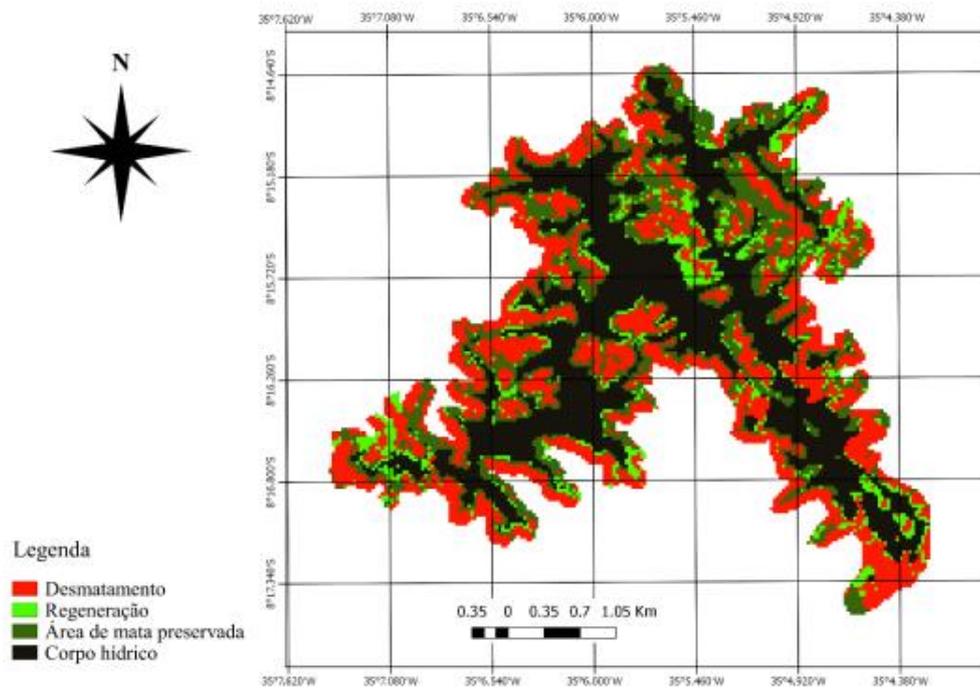
Conforme relatado por Moraes (2019), as atividades antrópicas na APP do reservatório Pirapama impactaram quase 4,65 km² de vegetação nativa, equivalente a 33,3% da APP. Houve redução significativa da classe de cobertura “floresta preservada” para uso do solo dos tipos agricultura, área urbana e solo exposto, esta decresceu de 90,4% em 2003 para 81,8% em 2010 e decresceu para 66,7% até 2018 (Figura 20).

Figura 19 - Comparação do índice NDVI no Reservatório Pirapama em março/12 (a) e em setembro/11 (b)



Fonte: APAC (2017).

Figura 20 - Conflitos de uso e ocupação do solo nas APPs do Reservatório do Pirapama em 2018



Fonte: Moraes (2019).

O processo de urbanização acelerado na Bacia do Rio Pirapama aumentou a demanda pelos recursos naturais, particularmente, os recursos hídricos, e trouxe inúmeros impactos

ambientais para a região. A utilização intensiva do solo gera impactos consideráveis e favorece a degradação da qualidade das águas do rio modificando os ciclos biogeoquímicos e hidrológicos, reduzindo a disponibilidade e a qualidade da água da bacia, além de gerar problemas diversos, que oneram o tratamento e coloca em risco a saúde da população.

A demanda principal de água na bacia é a de abastecimento humano, que atende a demanda local e é parcialmente exportada para atender parte da RMR. O sistema Pirapama é responsável por 35% do atendimento na RMR, permitindo a exploração de uma vazão de 5 mil litros de água, por segundo.

Mudanças no uso da terra trazem influências para bacias hidrográficas alterando a interceptação da vegetação, as propriedades do solo, fatores biofísicos que afetam a evapotranspiração, águas subterrâneas, assim como as variações no clima alteram a precipitação, temperatura do ar, a umidade, o crescimento da cobertura vegetal e, conseqüentemente, os saldos hidrológicos na bacia hidrográfica (WANG et al., 2013). Especificamente os reservatórios podem sofrer impactos sobre a sedimentação, qualidade da água, níveis freáticos, erosão em rios, paisagísticos e valores culturais (BRANDIMARTE et al., 2008).

A Bacia Hidrográfica do Pirapama caracteriza-se por sua singularidade ao apresentar balanço hídrico crítico em certas épocas do ano, propiciando a existência de conflitos pelo uso das águas, tendo em vista o total de 24 indústrias ali estabelecidas. Cerca de 90% da área da bacia, originalmente de mata atlântica, foi desmatada para dar lugar à cultura da cana-de-açúcar. A qualidade das águas é comprometida pela fertirrigação, descartes de efluentes industriais e esgotos sanitários lançados sem tratamento no rio (ARAÚJO, 2005).

A atividade agroindustrial na Bacia do Pirapama é responsável pela maior parte da carga poluidora orgânica potencial e remanescente total (88,78%), seguida pelas atividades doméstica e industrial (9,12% e 2,1%, respectivamente), de acordo com a CPRH (1998) e apresentada na Tabela 6. Embora seja um tipo de cobertura vegetal, contribui para a erosão do reservatório, conforme relatado por Lima Filho (2018).

Tabela 6 - Carga poluidora orgânica potencial e remanescente total na Bacia do Rio Pirapama

Poluição orgânica (Kg DBO/dia)	Potencial	Remanescente	
		(t DBO _{5,20} /dia)	(%)
Doméstica	4,13	2,48	9,12
Industrial	11,37	0,57	2,10
Agroindustrial	241,34	24,13	88,78
Total	256,84	27,18	100

Fonte: CPRH;DFID (1998).

O reservatório de Pirapama já demonstra um elevado potencial para a ocorrência de florações de cianobactérias. Logo, eventuais anos de chuvas abaixo da média e/ou o aumento progressivo da demanda hídrica, como é o caso de Pirapama, que abastece também um importante complexo industrial, ainda em expansão, podem resultar na persistência de cianobactérias, devido ao conseqüente aumento gradativo do tempo de residência da água no reservatório, que implicaria no acúmulo de nutrientes. Somado a isto, verificou-se aumento em torno de 1°C/década entre 1960 a 2005 para a região de e Pirapama (DUARTE, 2009), e cenários climáticos com diminuição dos picos de vazão na sua bacia (SILVA e GALVINCIO, 2009).

Muito embora Pirapama tenha sido bem planejado e acompanhado internacionalmente, por COBH o reservatório carece de intervenções na mesma ordem e intensidade. Isso decorre da descontinuidade dos trabalhos planejados, como foi visto quando identificado em outros estudos, bem como pela proporção do crescimento econômico da região como um todo (LIA FILHO, 2018).

4.7 GOVERNANÇA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO PIRAPAMA

No Brasil, a governança das águas enfrenta uma responsabilidade excepcional: gerir cerca de 12% do total de água doce superficial do planeta. A governança da água está enquadrada em um conjunto de disposições constitucionais distribuídas de forma esparsa ao longo do texto da Constituição Federal de 1988. A água é bem de domínio público e objeto de competências explícitas relacionadas a diversos aspectos: alocação para atividades e serviços; abastecimento para fins de consumo humano; exploração de recursos hídricos; água enquanto integrante do meio ambiente; e como objeto de direitos individuais e coletivos. Cabe à União a competência para instituir o sistema de gerenciamento de recursos hídricos (SEIXAS, 2020).

A governança ambiental mais do que um conceito, é uma prática que visa compatibilizar de forma permanente, os interesses de todas as partes na manutenção de um meio ambiente

sadio conforme preconiza o Artigo 225 da Constituição Federal: “Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações” (NAIME, 2021).

A governança ambiental pode ser entendida como um processo envolvendo múltiplos atores sociais e seus respectivos valores e interesses na elaboração, tomada de decisão e implementação de ações que visam à conservação ambiental (FOLKE, HAHN, OLSSON, & NORBERG, 2005; KOOIMAN & BAVINCK, 2005; LEMOS & AGRAWAL, 2006). Num barramento ou reservatório relevante de bacia hidrográfica, as partes interessadas são todos os integrantes desta bacia hidrográfica, sejam usuários deste recurso natural ou não (NAIME, 2021).

A governança ambiental pode focar tanto as ações de conservação e uso sustentável da biodiversidade e serviços ecossistêmicos (tais como água e regulação climática), como as de remediação dos impactos das atividades humanas sobre a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos (SEIXAS et al., 2020).

A gestão das águas no Brasil, instituída nacionalmente pela Lei Federal nº 9.433/1997, se baseia no atendimento ao uso múltiplo das águas e na gestão por bacias hidrográficas, tendo como um de seus objetivos “assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos”. O desafio para alcançar esse objetivo tem se apresentado de forma mais premente nas cidades e regiões metropolitanas, onde se verifica uma crescente complexidade para garantir o abastecimento das populações urbanas (ANA, 2017).

Baseada no modelo francês de gestão dos recursos hídricos, a Lei 9.433/97 instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. A Lei 9.433/97 trouxe uma mudança de paradigma na forma como os recursos hídricos eram tratados na sociedade brasileira. Também incorporou alguns conceitos fundamentais dessa visão de sustentabilidade no que se refere à água, incluindo questões como a gestão descentralizada dos recursos hídricos, a compreensão da água como elemento dotado de valor econômico para induzir novos comportamentos e a promoção da participação social na sua gestão. Esses são alguns elementos fundamentais que conectaram o trato dos recursos hídricos do Brasil com o pensamento contemporâneo sobre sustentabilidade e recursos naturais (MMA, ANA e PNUMA, 2007).

A partir da Lei 9.433/97, inicia-se a discussão do processo de implementação dos Comitês de Bacias Hidrográficas (COBH), espaços participativos de deliberações sobre os recursos

hídricos das bacias hidrográficas. Dentre as bacias existentes no estado de Pernambuco destaca-se a Bacia do Rio Pirapama, com uma extensão aproximada de 80 km (DIAS e BARROS, 2008).

Nesse cenário, o COBH-Pirapama foi pioneiro no estado de Pernambuco, precedido de um intensivo programa de estudos técnicos, realizados no âmbito da cooperação técnica Brasil e Reino Unido, através do Projeto de Planejamento e Gerenciamento Ambiental da Bacia do Pirapama (GAMA, 2002). Dessa forma, em junho de 1998 foi instalado o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Pirapama.

A *Agenda 21 Plano de Desenvolvimento Sustentável da Bacia do Rio Pirapama*, denominado também *Agenda 21 do Pirapama* (Figura 20), foi aprovado durante a primeira reunião ordinária do COBH-Pirapama. A Agenda 21 do Pirapama está estruturada sobre quatro linhas estratégicas de ação:

- Melhoria da qualidade de vida;
- Fortalecimento do sistema de gestão ambiental;
- Melhoria da qualidade do meio ambiente natural e
- Controle do uso das águas da Bacia do Pirapama (ARRUDA, 2005).

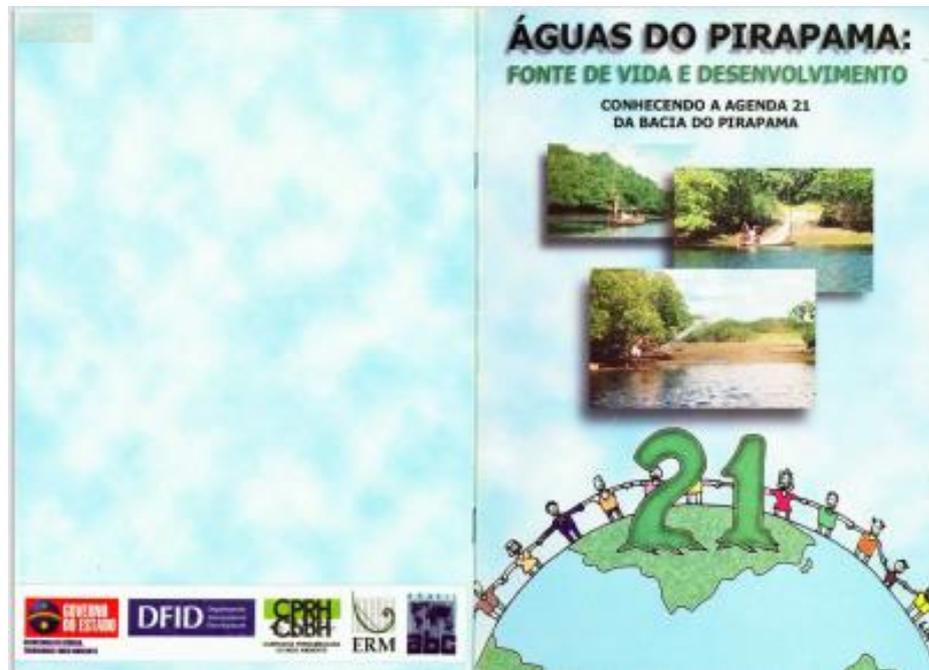
Em nível global, os esforços de governança ambiental na atualidade têm como foco os 17 ODS e suas 169 metas que compõem a Agenda 2030 da ONU. A construção desta agenda, que se iniciou durante a Rio +20, teve forte protagonismo do Brasil, e foi adotada por 193 países na Cúpula das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável, em 2015.

A Agenda 2030 é um plano de ação para as pessoas, para o planeta e para a prosperidade da qual o Brasil e outros 192 países que integram a Organização das Nações Unidas (ONU) são signatários. Essas nações se comprometeram a tomar medidas ousadas e transformadoras, urgentes e necessárias, para direcionar o mundo para um caminho sustentável e resiliente. Ainda que o Brasil seja signatário das resoluções da ONU que reconhecem e reafirmam o acesso à água e ao saneamento enquanto um direito humano, as condições, dados e projeções no Brasil indicam grandes dificuldades para alcançar o ODS 6 (Água Limpa e Saneamento) de acordo com o Relatório Luz 2019 (CBHSF, 2019).

Garantir o acesso universal e seguro à água potável até 2030 requer investimento em infraestrutura adequada, acesso a saneamento e fomentar a higiene em todos os níveis. Proteger e recuperar ecossistemas que vivem e dependem da água como florestas, montanhas, pântanos e rios é essencial se nós queremos mitigar a escassez de água. Uma maior cooperação internacional também é necessária para fomentar e apoiar o uso correto da água por meio do

tratamento adequado, com a colaboração da tecnologia, em países em desenvolvimento.

Figura 21 - Agenda 21 da Bacia do Rio Pirapama



Fonte: CPRH (2000).

4.8 MEDIDAS MITIGADORAS

A adoção da bacia hidrográfica como uma unidade de planejamento surge da emergência das questões ambientais e da necessidade de um modelo de desenvolvimento sustentável. A bacia hidrográfica, além de se configurar como um ecossistema propício para o gerenciamento prático, possibilita a medição e a avaliação de quanto as sociedades humanas interferem nos sistemas naturais e quais as consequências para a sua sustentabilidade (GAMA, 2003).

A partir da experiência do Pirapama e com base nas informações obtidas através de uma ampla pesquisa bibliográfica e documental, conclui-se que para obter um gerenciamento adequado dos reservatórios é preciso desenvolver ações na sua bacia hidrográfica no sentido de promover o controle e a redução das fontes poluidoras, os tratamentos dos efluentes domésticos e industriais, a utilização de práticas agrícolas adequadas, o monitoramento hidrológico e da qualidade da água, a recuperação das matas ciliares, a educação ambiental e a participação da população local na realização de projetos que propiciem o desenvolvimento sustentável. Recomenda-se que o gerenciamento do reservatório seja executado através de um sistema de gestão ambiental. Propõe-se a realização de um trabalho multidisciplinar na qual sejam

avaliados os componentes socioambientais da bacia, com o envolvimento de diversos atores, entre outros, representantes do órgão ambiental, prefeituras, empresa de saneamento, organizações não governamentais e sociedade civil, no fórum adequado para essas discussões que é o comitê de bacia. Caminhando nessa direção, sugere-se a implementação de programas previstos na Agenda 21 da Bacia do Pirapama e a execução do plano de ação para a gestão da área de proteção do reservatório proposto pelo COBH Pirapama (ARAÚJO, 2005).

O Plano de Gestão de Recursos Hídricos contempla um conjunto de ações desenvolvidas para o planejamento, administração e uso adequado da água. Tem o objetivo de regular, controlar e proteger o uso da água atendendo, principalmente, à legislação e normas estaduais/federais vigentes. No Plano de Gestão de Recursos Hídricos, além da gestão adequada quanto às normas vigentes, pode ser contemplada a avaliação sobre o assoreamento; controle de erosão; contenção de encostas; uso e ocupação do solo para preservação de mananciais e a recomposição de vegetação ciliar (AZURIT, 2021).

Com relação à Bacia do Pirapama, recomenda-se realizar o replantio da mata ciliar na APP do reservatório, desenvolvimento de boas práticas ambientais, realizar o monitoramento sistemático da qualidade da água, melhorar o saneamento ambiental na Bacia do Pirapama, promover o tratamento do aporte das cargas orgânicas e inorgânicas industriais, intensificar a fiscalização pelos órgãos ambientais nas indústrias e na agroindústria, promover ações de educação ambiental para os usuários da bacia sensibilizando para o uso racional da água com vistas ao desenvolvimento sustentável.

5 CONCLUSÃO

A água bruta no entorno do reservatório Pirapama variou entre boa e ótima qualidade, com destaque para os anos de 2018 e 2019 que apresentou amostras com IQA acima de 80 e obteve classificação constante de ótima qualidade. Os dados analisados apresentaram valores de IET variando entre 57 e 48 unidades de IET apresentando-se na classe Mesotrófico com exceção de um pequeno período entre os meses de novembro e dezembro de 2017 que o corpo hídrico foi classificado com Oligotrófico.

O uso e ocupação do solo da Bacia do Rio Pirapama é bastante diversificado, caracterizado pela ocupação urbana e industrial, fazendas e granjas, policultura (assentamentos rurais), e duas pequenas hidrelétricas, áreas de cultivo de cana-de-açúcar, mata atlântica e manguezais. A agricultura é a atividade agrícola predominante na Bacia do Pirapama e também a principal causa de conflito pelo uso do solo.

Com base no exposto foi observado que o reservatório Pirapama sofre diversos impactos ambientais na sua APP. Cerca de 90% da área da bacia do Pirapama, originalmente de mata atlântica, foi desmatada para dar lugar à cultura da cana-de-açúcar. A conversão de áreas de vegetação natural em áreas de plantio reduz a qualidade e a quantidade da água. Outros fatores que comprometem a qualidade das águas nesta bacia são a fertirrigação, descartes de efluentes industriais e esgotos sanitários lançados sem tratamento no rio. O efeito do uso e ocupação do solo intensivo na qualidade da água foi relatado por diversos autores como assoreamento, presença de macrófitas, dentre outros.

O processo de urbanização acelerado na Bacia do Rio Pirapama aumentou a demanda pelos recursos naturais, particularmente, os recursos hídricos, e trouxe inúmeros impactos ambientais para a região. A utilização intensiva do solo gera impactos consideráveis e favorece a degradação da qualidade das águas do rio modificando os ciclos biogeoquímicos e hidrológicos, reduzindo a disponibilidade e a qualidade da água da bacia, além de gerar problemas diversos, que oneram o tratamento e coloca em risco a saúde da população.

Recomenda-se que o gerenciamento do reservatório Pirapama seja executado através de um sistema de gestão ambiental, a implementação dos programas previstos na Agenda 21 da Bacia do Pirapama, a execução do plano de ação para a gestão da área de proteção do reservatório proposto pelo COBH Pirapama.

Com relação à Bacia do Pirapama, recomenda-se realizar o replantio da mata ciliar na APP do reservatório, desenvolvimento de boas práticas ambientais, realizar o monitoramento sistemático da qualidade da água, melhorar o saneamento ambiental na Bacia do Pirapama, promover o tratamento do aporte das cargas orgânicas e inorgânicas industriais, intensificar a fiscalização pelos órgãos ambientais nas indústrias e na agroindústria, promover ações de educação ambiental para os usuários da bacia sensibilizando para o uso racional da água com vistas ao desenvolvimento sustentável.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, C. F. Diretrizes de gestão ambiental para reservatórios de abastecimento de água a partir da experiência da barragem do Pirapama- Pernambuco. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Recife: UFPE, 2005. 130p.
- ARRUDA, N. O. Gestão integrada dos recursos hídricos na Bacia do Rio Pirapama, Cabo de Santo Agostinho, Pernambuco (Estudo de qualidade de água). Dissertação de Mestrado em Gestão e Políticas Ambientais. Recife: UFPE, 2005. 113p.
- ALEPE - Assembleia Legislativa de Pernambuco. Frente parlamentar constata lixo e construções irregulares em visita ao Rio Pirapama. 22.05.2017. Disponível em: <http://www.alepe.pe.gov.br/2017/05/22/frente-dos-rios-constata-lixo-e-construcoes-irregulares-em-visita-ao-rio-pirapama/>. Acesso em: 01.05.2021.
- AZURIT. Recursos hídricos. Plano de Gestão de Recursos Hídricos. 2021. Disponível em: <http://azurit.com.br/areas-de-atuacao/recursos-hidricos/> . Acesso em: 29.04.2021.
- BRANDIMARTE, A. L.; ANAYA, M.; SHIMIZU, G. Y.; MEIRELLES, S. T.; CANEPPELE, D. Impact of damming the Mogi-Guaçu River (São Paulo State, Brazil) on limnological variables. *Lakes and Reservoirs*, v. 13, 2008, p. 23-35,
- CARNEY, E. Relative influence of lake age and watershed land use on trophic state and water quality of artificial lakes in Kansas. *Lake and Reservoir Management*, v. 25, 2009, p. 199–207.
- CARVALHO, N. O; FILIZOLA Jr., SANTOS, P. M. C; LIMA, J. E. F. W. - *Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios Brasília*: ANEEL, 140p. 2000.
- CBHSF – Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. Brasil longe de assegurar água e saneamento universal. 27.08.2019. Disponível em: <https://cbhsaofrancisco.org.br/noticias/novidades/brasil-longe-de-assegurar-agua-e-saneamento-universal/> . Acesso em: 02.05.2021.
- CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. 2021. Mortandade de peixes. Oxigênio Dissolvido. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/mortandade-peixes/alteracoes-fisicas-e-quimicas/oxigenio-dissolvido/> . Acesso em: 29.04.2021.
- CPRH/DFID. **Estudo dos recursos hídricos da bacia do rio Pirapama**. Recife: Companhia Pernambucana de Meio Ambiente/Department for International Development, 1998.
- CPRH. **Diagnóstico ambiental integrado da bacia do Pirapama**. Recife: Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (CPRH) e *Department for International Development* (DFID), 1999.
- CPRH. Companhia Pernambucana de Meio Ambiente. 2003. **Diagnóstico Socioambiental do Litoral Sul de Pernambuco**. Recife.
- COMPESA - Companhia Pernambucana DE Saneamento. **Agenda 21: Bacia do Pirapama – Zoneamento Ecológico-Econômico.**, Recife, 2016.

DIAS, T. F.; BARROS, H. Gestão de recursos hídricos: uma olhar para visões da cobrança pelo uso da água a partir dos membros do Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Pirapama – PE. Encontro de Administração Pública e Governança. **Anais...** Salvador-BA, 12 a 14 nov. 2008.

DUARTE, C. C. **Análise dos Impactos das Mudanças Climáticas no Escoamento Superficial da Bacia Hidrográfica do Rio Tapacurá- PE, a Partir da Utilização de Um Modelo de Balanço Hídrico Mensal Semi-Distribuído.** Dissertação (Mestrado em Geografia) Universidade Federal de Pernambuco Recife, Pernambuco, 125 p, 2009.

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

GAMA, A. M. C. F. Avaliação da Agenda 21 da Bacia Hidrográfica do Rio Pirapama. Dissertação de Mestrado em Gestão e Políticas Ambientais. 2003. Recife: UFPE, 2003. 186p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE Cidades.** 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 01.05.2021.

JUNIOR, P. P. A.; KUWAJIMA, J. I.; MAUAD, F. F. Avaliação da produção de sedimentos em uma bacia de pequeno porte por meio do simulador SWAT. In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013, Bento Gonçalves. **Anais[...]**, Bento Gonçalves: ABRH, 2013.

KALIKI, M. **Unidade 3 Variáveis e parâmetros de qualidade de água em rios e reservatórios.** [s.d.] Disponível em: <https://mail.google.com/mail/u/0/#inbox/FMfcgxwLtkWfwvFVGCnbNTbwPBLFTTtC> . Acesso em: 01.05.2021.

KÖPPEN, W. Klassifikation der klimate nach temperatur, niederschlag und jahreslauf. **Petermanns Geographische Mitteilungen**, Gotha, v. 64, p. 193-202, 1918.

LEAL, C. M. F. **Subsídios para o uso e ocupação do solo no município do cabo de Santo Agostinho-PE, com ênfase para os recursos hídricos.** Dissertação de Mestrado em Geociências. Recife: UFPE, 118p.

MEISTER, R. S.; NÓBREGA, W. R.; RONJA, W.; GEROLD, GERHARD. Process-based modelling of the impacts of land use change on the water balance in the Cerrado Biome (Rio das Mortes, Brazil). **Erdkunde**, v. 71, n.3, p.241-266, 2017.

MENEZES J.; BITTENCOURT R.; FARIAS M.; BELLO I.; FIA R.; COUTINHO, L. Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana. *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental.* v.21, n.3., 2016, p. 519-534.

MMA – Ministério do Meio Ambiente; ANA – Agência Nacional de Águas; PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. **GEO Brasil: recursos hídricos: componente da série de relatórios sobre o estado e perspectivas do meio ambiente no Brasil.** Brasília: Ministério do Meio Ambiente (MMA); Agência Nacional de Águas (ANA) e Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), 2007.

MORAES, M. C. G. **Dinâmica de uso e ocupação do solo em Áreas de Preservação Permanente do Reservatório do Pirapama, Cabo de Santo Agostinho – PE.** Trabalho de Conclusão de Curso. Graduação em Engenharia Florestal. Recife: UFRPE, 2019. 45p.

NAIME, R. **Exercício da governança ambiental nos grandes reservatórios de água.** 2021. Disponível em: <https://www.ecodebate.com.br/2011/11/21/exercicio-da-governanca-ambiental-nos-grandes-reservatorios-de-agua-artigo-de-roberto-naime/>. Acesso em: 02.05.2021.

OLIVEIRA, Márcia Teixeira de. **O fitoplâncton como instrumento de biomonitoramento da qualidade da água do Reservatório de Cachoeira Dourado – Rio Paranaíba – GO/MG.** Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais do Centro de Ciências Biológicas e da Saúde da Universidade Federal de São Carlos. São Paulo, 2010.

OLIVEIRA, S. S.; CUNHA, A. C.; Correlação entre qualidade da água e variabilidade da precipitação no Sul do Estado do Amapá. Versão online da Revista Ambiente e Água, v. 9, n. 2, 2014.

PERNAMBUCO. Companhia Pernambucana de Saneamento. **Sistemas de abastecimento: Sistema Pirapama.** In: Abastecimento de Água, 2012. Disponível em: <https://servicos.compesa.com.br/abastecimento-de-agua/>. Acesso em 8 out. 2017.

ROSA, C. A. S.; OLIVEIRA, A. M. S.; SAAD, A. R.; A expansão urbana e o IQA como ferramentas de avaliações e análises da evolução da qualidade das águas do rio Cotia, região metropolitana de São Paulo, Brasil. **RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 4, p. 114-123, out./dez. 2014.

SANTOS, R. O.; SCUDELARI, A.C.; CUNHA, C.L.N.; RIGHETTO, A.M. Avaliação da Produção e Aporte de Sedimentos para o Rio Potengi, RN. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.18, n.3, p.149-163, 2013.

SANTOS, J. Y. G.; SILVA, R. M.; CARVALHO NETO, J.G.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; SANTOS, C.A.G.; SILVA, A.M. Land cover and climate change effects on stream flow and sediment yield: a case study of Tapacurá River basin, Brazil. *Proc. Int. Assoc. Hydrol. Sci.*, v.371, p.189-193, 2015.

SANTOS, K. A.; OTTONI, M. V. Regionalização da Q95% da sub-bacia 39 (bacias litorâneas de Pernambuco e Alagoas). X Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. **Anais...** Maceió-AL, 20 a 24 de novembro de 2018.

SANTOS, T.E.M., MONTEIRO. A.A.A. Erosividade e padrões históricos de precipitação no agreste central de Pernambuco. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, p.871 – 880, 2012.

SECTMA. Secretaria de ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. 1998. Recife: Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco, v. 1-3,849p.

SEIXAS, C. S.; PRADO, D. S.; JOLY, CC. A.; MAY, P. H.; NEVES, E. M. S. C.; TEIXEIRA, L. R. Governança ambiental no Brasil: rumo aos objetivos do desenvolvimento

sustentável (ODS)? **Cadernos Gestão Pública e Cidadania** | São Paulo, v. 25, n. 81, 1-21 e-81404, 2020.

SILVA, C. A. V.; GALVÍNCIO, J. D. Relação clima e escoamento superficial na Bacia Hidrográfica do Rio Pirapama – PE. *RBGF- Revista Brasileira de Geografia Física*, Recife-PE, Vol.2 n.02, maio-agosto 2009, 57-69.

STRETTA, C. Hydrodynamic Modelling of the Pirapama Estuarine System after upstream regulation. Report INPT/ENSEEIH, 2000.

TUNDISI, J. G. Água no século XXI: Enfrentando a escassez. São Carlos-SP: Ed. Rima, 2003.

TUNDISI, J.G. & MATSUMURA-TUNDISI, T. M. *Limnologia*. São Paulo, Oficina de textos, 2008, 632 p.

TYBA. **Seca na barragem do Pirapama**. 2014. Disponível em: http://tyba.com.br/br/registro/cd321_138.JPG/-Seca-na-barragem-de-Pirapama---Cabo-de-Santo-Agostinho---Pernambuco-PE---Brasil. Acesso em: 02.05.2021.

VIANA, J.F.; SOUZA, A.G.; MONTENEGRO, S.M.; RIBEIRO NETO, A. **Estimativa da evapotranspiração real na bacia do rio Pirapama – PE por meio de técnicas de SIG e imagens MODIS/Terra**. In Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Santos, SP, 2017.

WANG, S.; ZHANG, Z. ; MCVICAR, R. T. ; GUO, J. ; TANG, Y. ; YAO, A. Isolating the impacts of climate change and land use change on decadal streamflow variation: Assessing three complementary approaches, *Journal of Hydrology*, v. 507, 2013, p. 63–74.