



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

FERNANDA GOMES BERNARDINO

**INVESTIGAÇÃO DE PARÂMETROS PARA IMPLEMENTAÇÃO DA TÉCNICA DE
FILTRAÇÃO EM MARGEM NO RIO SÃO FRANCISCO, PETROLÂNDIA-PE**

Recife
2025

FERNANDA GOMES BERNARDINO

**INVESTIGAÇÃO DE PARÂMETROS PARA IMPLEMENTAÇÃO DA TÉCNICA DE
FILTRAÇÃO EM MARGEM NO RIO SÃO FRANCISCO, PETROLÂNDIA-PE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de mestre (a) em Engenharia civil.
Área de concentração: Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos

Orientador (a): Anderson Luiz Ribeiro de Paiva

Recife
2025

Catálogo de Publicação na Fonte. UFPE - Biblioteca Central

Bernardino, Fernanda Gomes.

Investigação de parâmetros para implementação da técnica de filtração em margem no Rio São Francisco, Petrolândia-PE / Fernanda Gomes Bernardino. - Recife, 2025.

94f.: il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2025.

Orientação: Anderson Luiz Ribeiro de Paiva.

Inclui referências.

1. Filtração em Margem; 2. Rio São Francisco; 3. Zona hiporreica; 4. Tratamento de água. I. Paiva, Anderson Luiz Ribeiro de. II. Título.

UFPE-Biblioteca Central

FERNANDA GOMES BERNARDINO

**INVESTIGAÇÃO DE PARÂMETROS PARA IMPLEMENTAÇÃO DA TÉCNICA DE
FILTRAÇÃO EM MARGEM NO RIO SÃO FRANCISCO, PETROLÂNDIA-PE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de mestre (a) em Engenharia civil. Área de concentração: Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos

Aprovada em: 06/02/2025

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral (Examinador Interno)
Universidade de Pernambuco

Prof. Dr. Diogo Henrique Fernandes da Paz (Examinador Externo)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco

Prof. Dr. José Adson Andrade de Carvalho Filho (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco

Dedico este trabalho aos meus pais, João e Givanilda,
que sob o sol, fizeram-me chegar
até aqui, na sombra.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela oportunidade, força de vontade e coragem para iniciar minha jornada profissional em novo lugar.

Agradeço aos meus pais, João Bernardino Filho da Silva e Givanilda Gomes de Oliveira, por todo o apoio e contribuição para que essa jornada se realizasse. A minha irmã, pelo companheirismo de sempre, por todo apoio e confiança.

Gratidão aos meus amigos que apoiaram esse sonho e tornaram esses anos mais leves, em especial a Laís Sodré e Thallyany Gentil que fizeram os primeiros anos no Recife serem mais especiais, vocês contribuíram para a construção desse novo lar.

Agradeço aos amigos e colegas que conheci através do mestrado, por todos os momentos de descontração e apoio durante a realização da pesquisa, em especial a Maria Cecília, Adson e Raquel.

Ao meu orientador, Anderson Paiva, pela confiança, dedicação, apoio e ensinamentos prestados ao longo do desenvolvimento da pesquisa, desempenhando a função da melhor forma possível.

À FACEPE (Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco) pela bolsa concedida e apoio financeiro para o desenvolvimento das pesquisas no tema Filtração em Margem.

A todos que contribuíram para a realização desse sonho.

“Mesmo o leito seco de um rio ainda guarda o seu nome.”

Provérbio africano

RESUMO

A Filtração em Margem (FM) é uma técnica de tratamento de água que consiste na extração, por bombeamento, de água subterrânea através de um ou mais poços com encaminhamento desta água para um reservatório de distribuição. Durante a passagem da água pelos sedimentos do solo, ocorrem processos físicos, químicos e biológicos que são responsáveis pela atenuação dos poluentes na água. Essa técnica já vem sendo avaliada em projetos piloto no estado de Pernambuco e como vem apresentando resultados promissores observados, pretende-se expandir o estudo da FM para as margens do rio São Francisco. Esse trabalho tem o objetivo de avaliar os fatores determinantes para a implantação do projeto de FM em uma localidade do semiárido, em Petrolândia, nas margens do rio São Francisco. A presente pesquisa envolveu as atividades de investigação de dados secundários com análises e coleta de campo, tais como: dados hidrogeoambientais extraídos da SIAGAS/CPRM, ANA, APAC e CHESF e caracterizar fisicamente a zona hiporreica através de análises granulométricas e biologicamente através de análises da meiofauna e dos microfítobentos. A coleta de campo ocorreu nas margens do reservatório e realizou-se duas campanhas em abril/2023 e setembro/2023. Utilizou-se amostradores padrão para realização das coletas, seguindo as seguintes metodologias: NBR 7181 de 2018 - Solo — Análise granulométrica; Veras et al., 2017; Freitas et al., 2019; Santos et al., 2021; Colijn, Dijkema, 1981. Os dados de pluviosidade apontam que o período de seca ocorre entre os meses de maio a outubro e o período chuvoso é observado entre os meses de novembro a abril. O levantamento geológico indica que o local apresenta formação geológica a partir da Bacia Sedimentar de Jatobá e os perfis litológicos dos poços avaliados apresentam significativa composição arenosa. Os dados de hidrologia apontam que a vazão apresenta diferença significativa entre os períodos secos e chuvosos, já os parâmetros cota e volume apresentaram diferença significativa entre os anos avaliados, o que pode ser reflexo do período de estiagem. Através dos dados de monitoramento da qualidade de água do reservatório Itaparica, pode-se verificar que o reservatório se enquadra na classificação classe I da resolução 357 (CONAMA, 2005). As frações granulométricas do solo nos dois períodos apresentaram predominância quase total de areia (79,64 a 86,20%), o que é recomendado para a FM. Em relação a caracterização biológica da ZH, foram contabilizados 230 indivíduos, sendo Nemátoda (35,7%), Copepoda (27%) e Anelídeo

(21,3%) os grupos dominantes, no entanto as Nemátoda apresentaram uma forte correlação com sedimentos que apresentaram porcentagem elevadas de silte/argila, contrapondo os resultados obtidos. Os dados de biomassa dos microfitobentos apresentaram concentrações baixas de clorofila-a (2,48 e 7,81 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$) e feopigmentos (0,98 e 14,19 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$) para os períodos secos e chuvosos, respectivamente, o que esperado para ambientes fluviais. Portanto, os resultados apontam que os cenários encontrados foram favoráveis para aplicação da técnica de FM às margens do rio São Francisco na cidade de Petrolândia, embora deve-se fazer uma investigação mais aprofundada da zona hiporreica e avaliar as variáveis que influenciam o sistema.

Palavras-chave: Filtração em Margem; Rio São Francisco; zona hiporreica; tratamento de água.

ABSTRACT

The Bankfiltration (BF) is a water treatment technique that consists of extracting groundwater by pumping it through one or more wells and then sending it to a distribution reservoir. As the water passes through soil sediments, physical, chemical and biological processes occur that are responsible for attenuating pollutants in the water. This technique has already been evaluated in pilot projects in the state of Pernambuco and, as it has shown promising results, it is intended to expand the study of BF to the banks of the São Francisco River. This study aims to evaluate the determining factors for implementing a BF project in a semi-arid region, in Petrolândia, on the banks of the São Francisco River. This research involved secondary data investigation activities with analysis and field collection, such as: hydrogeoenvironmental data extracted from SIAGAS/CPRM, ANA, APAC and CHESF and to physically characterize the hyporheic zone through granulometric analysis and biologically through analysis of meiofauna and microphytobenthos. Field collection took place on the banks of the reservoir and two campaigns were carried out in April/2023 and September/2023. Standard samplers were used to carry out the collections, following the following methodologies: NBR 7181 of 2018 - Soil - Granulometric analysis; Veras et al., 2017; Freitas et al., 2019; Santos et al., 2021; Colijn, Dijkema, 1981. Rainfall data indicate that the dry period occurs between the months of May to October and the rainy period is observed between the months of November to April. The geological survey indicates that the site has a geological formation from the Jatobá Sedimentary Basin and the lithological profiles of the wells evaluated show a significant sandy composition. The hydrological data indicate that the flow presents a significant difference between the dry and rainy periods, while the elevation and volume parameters presented significant differences between the years evaluated, which may be a reflection of the dry season. Through the monitoring data of the water quality of the Itaparica reservoir, it can be verified that the reservoir falls under the class I classification of resolution 357 (CONAMA, 2005). The granulometric fractions of the soil in both periods showed an almost total predominance of sand (79.64 to 86.20%), which is recommended for BF. Regarding the biological characterization of the ZH, 230 individuals were counted, with Nematoda (35.7%), Copepoda (27%) and Annelid (21.3%) being the dominant groups, however the Nematoda presented a strong correlation with sediments that presented high

percentages of silt/clay, contrasting the results obtained. The biomass data of microphytobenthos showed low concentrations of chlorophyll-a (2.48 and 7.81 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$) and pheopigments (0.98 and 14.19 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$) for the dry and rainy periods, respectively, which is expected for river environments. Therefore, the results indicate that the scenarios found were favorable for the application of the BF technique on the banks of the São Francisco River in the city of Petrolândia, although a more in-depth investigation of the hyporheic zone and evaluation of the variables that influence the system should be carried out.

Keywords: bankfiltration; São Francisco River; hyporheic zone; water treatment.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Esquema da técnica de filtração em margem	23
Figura 2 - Fluxograma de trabalho nesta pesquisa	30
Figura 3 - Localização da área de estudo, Petrolândia – Pernambuco	31
Figura 4 - Localização da estação de monitoramento da Companhia Hidro Elétrica do São Francisco.....	33
Figura 5 - Localização do ponto de coleta em Petrolândia.....	35
Figura 6 - Etapas da metodologia realizada para a determinação da distribuição granulométrica: (a) Separar massa para ensaio; (b) Dispersão do material; (c) Sedimentação; (d) Peneiramento	36
Figura 7 - Metodologia realizada da meiofauna: (a) Coleta; (b) Peneiramento das amostras; (c) Processo de identificação e quantificação dos meiobentos	38
Figura 8 - Infográfico dos processos de análise dos microfítobentos	39
Figura 9 - Representação Box Plot dos dados de precipitação mensal em Petrolândia - PE (1993 – 2023)	41
Figura 10 - Bacias sedimentares do estado de Pernambuco	42
Figura 11 - Geologia do Município de Petrolândia – PE.....	44
Figura 12 - Mapa de favorecimento hídrico do Município de Petrolândia – PE	47
Figura 13 - Hidrograma da cota do reservatório Itaparica (2010 – 2023).....	49
Figura 14 - Série histórica de cota mensal no reservatório Itaparica (2010 – 2023) .	50
Figura 15 - Hidrograma do volume útil do reservatório Itaparica (2010 – 2023).....	51
Figura 16 - Série histórica do volume útil no reservatório Itaparica (2010 – 2023)....	51
Figura 17 - Hidrograma da vazão natural do reservatório Itaparica (2010 – 2023) ...	52
Figura 18 - Série histórica da vazão natural no reservatório Itaparica (2010 – 2023)	53
Figura 19 - Variação da temperatura no reservatório Itaparica, em Petrolândia – PE (2016-2021).....	56
Figura 20 - Variação de pH no reservatório Itaparica, em Petrolândia – PE (2016-2021)	57
Figura 21 - Variação de salinidade no reservatório Itaparica, em Petrolândia – PE (2016-2021).....	57
Figura 22 - Variação de oxigênio dissolvido no reservatório Itaparica, em Petrolândia – PE (2016-2021)	58

Figura 23 - Variação de DBO no reservatório Itaparica, em Petrolândia – PE (2016-2021)	59
Figura 24 - Variação de turbidez no reservatório Itaparica, em Petrolândia – PE (2016-2021)	59
Figura 25 - Variação de fósforo total no reservatório Itaparica, em Petrolândia – PE (2016-2021).....	60
Figura 26 - Variação de nitrogênio total no reservatório Itaparica, em Petrolândia – PE (2016-2021).....	61
Figura 27 - Análise da correlação dos parâmetros hidrogeoambientais e de qualidade da água do reservatório Itaparica, em Petrolândia – PE	68
Figura 28 - Material coletado para a análise granulométrica do reservatório Itaparica, em Petrolândia – PE.....	70
Figura 29 - Frações granulométricas da ZH no reservatório Itaparica, em Petrolândia - PE	71
Figura 30 - Percentual de abundância dos táxons mais representativos em relação ao total de indivíduos.....	72
Figura 31 - Densidade média e desvio padrão das amostras de meiofauna na ZH no reservatório de Itaparica, Petrolândia.....	74
Figura 32 - Concentrações de clorofila-a e feopigmentos do reservatório de Itaparica	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Localização da estação de monitoramento da Companhia Hidro Elétrica do São Francisco.....	33
Tabela 2 - Localização do ponto de coleta para avaliação da zona hiporreica	35
Tabela 3 - Dados de pluviosidade mensal do município de Petrolândia - PE	40
Tabela 4 - Dados de pluviosidade nos períodos secos e chuvosos do município de Petrolândia - PE	41
Tabela 5 - Formações geológicas do município de Petrolândia - PE	43
Tabela 6 - Perfis litológicos obtidos a partir dos poços cadastrados no SIAGAS/CPRM de Petrolândia – PE.....	44
Tabela 7 - Dados da hidrologia do reservatório de Itaparica (2010 a 2023).....	49
Tabela 8 - Dados de monitoramento da qualidade de água do reservatório de Itaparica (2016 a 2021)	54
Tabela 9 - Resultados da aplicação dos testes Shapiro-Wilk e Levene para verificação da distribuição normal e homogeneidade dos parâmetros	62
Tabela 10 - Aplicação do teste t de student para análise de diferença significativa entres os períodos seco e chuvoso dos parâmetros com distribuição normal	63
Tabela 11 - Aplicação da análise de variância para verificação da diferença significativa entres os anos analisados para os parâmetros com distribuição normal	64
Tabela 12 - Aplicação do teste Posthoc-Tukey para identificação dos anos que apresentam diferença significativa para os parâmetros com distribuição normal	65
Tabela 13 - Aplicação do teste Mann-Whitney e Kruskal-Wallis para verificação das diferenças significavas para os parâmetros que não apresentam distribuição normal	66
Tabela 14 - Análise granulométrica da ZH no reservatório Itaparica, em Petrolândia – PE.....	70
Tabela 15 - Abundância total da meiofauna analisada.....	73
Tabela 16 - Concentrações médias obtidas de clorofila-a e feopigmentos da zona hiporreica do reservatório de Itaparica	75

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	18
2.1	Objetivo geral	18
2.2	Objetivos específicos	18
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3.1	Rio São Francisco	19
3.2	Águas subterrâneas.....	20
3.3	Filtração em margem.....	22
3.3.1	<i>Configurações da Filtragem em Margem.....</i>	<i>23</i>
3.3.2	<i>Filtração em margem no mundo.....</i>	<i>25</i>
3.3.3	<i>Filtração em margem no Brasil.....</i>	<i>26</i>
3.4	Zona hiporeica	26
3.5	Meiofauna	27
3.6	Microfitobentos	28
4	METODOLOGIA.....	30
4.1	Área de estudo	30
4.2	Análise de dados hidrogeoambientais	31
4.2.1	<i>Análise estatística.....</i>	<i>33</i>
4.3	Investigação de características da zona hiporreica	34
4.3.1	<i>Granulometria.....</i>	<i>35</i>
4.3.2	<i>Meiofauna.....</i>	<i>36</i>
4.3.3	<i>Microfitobentônicos.....</i>	<i>38</i>
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
5.1	Características climáticas	40
5.2	Geologia	42
5.3	Hidrologia	48
5.4	Qualidade das águas superficiais	53
5.5	Análise estatística dos dados hidrogeoambientais	61
5.6	Caracterização da zona hiporreica	69

5.6.1	<i>Granulometria</i>	69
5.6.2	<i>Meiofuna</i>	72
5.6.3	<i>Microfitobentos</i>	75
6	CONCLUSÃO	77
	REFERÊNCIAS	79

1 INTRODUÇÃO

A busca por água potável em regiões difusas continua sendo um dos maiores problemas enfrentados pela população dessas localidades. Batista (2014) destaca que o semiárido nordestino é uma das áreas mais atingidas pela escassez hídrica, devido às suas condições climáticas de semiaridez e também pela degradação dos recursos hídricos, causada principalmente pela ação antrópica.

No estado de Pernambuco, 127 municípios estão inseridos no semiárido, correspondendo a 89% do território estadual. A região semiárida do estado de Pernambuco é caracterizada pela baixa pluviosidade, com chuvas mal distribuídas durante 4 a 5 meses do ano, pela alta taxa de evapotranspiração potencial, pelas temperaturas elevadas durante todo o ano e pela intermitência dos cursos d'água (APAC, 2015).

Das mesorregiões do estado de Pernambuco que estão inseridas no semiárido, região do rio São Francisco, Sertão e Agreste. O rio São Francisco apresenta uma área de drenagem de 639.219 km² e divide-se em quatro trechos: Alto, Médio, Submédio e Baixo São Francisco. Os municípios de Pernambuco que estão inseridos na Bacia do Rio São Francisco estão distribuídos entre o Submédio e Baixo São Francisco (CBHSF, 2024).

Gomes (2022) destaca que na bacia do rio São Francisco já se observam áreas com susceptibilidade a eventos de extrema seca, onde há uma diminuição nos níveis de cota e vazão ao longo dos anos. Isto está relacionado ao déficit na recarga pluvial, provocada pelas alterações climáticas que inibem as chuvas e também pelas alterações de uso e cobertura do solo com o avanço do desmatamento e de atividades de agropecuária na região.

Como destacado por Carvalho Filho (2019), as atividades humanas e industriais são as principais responsáveis pela contaminação dos recursos hídricos, pois grande parte do que é consumido tem como destino final as matrizes aquáticas, sejam elas superficiais ou subterrâneas.

O método para realização do tratamento de água para consumo humano deve levar em consideração suas características físico-químicas e a tratabilidade

da água bruta. A falta dessas considerações pode trazer diversos problemas operacionais (Richter, 2009).

Atualmente, o tratamento amplamente adotado é o convencional, contendo os processos de coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção, podendo conter etapas adicionais como correção de pH, fluoretação, entre outros, antes de ser distribuído à rede de abastecimento, e não convencional quando não possui todas as etapas contidas no tratamento convencional (IBGE, 2024).

Tais tratamentos de água apresentam como problemática a complexidade da tecnologia, além de estar relacionada ao controle social e às condições locais para manutenção e operação, atrela-se, igualmente, à disponibilidade de recurso local e à proximidade a um centro urbano para acesso a peças de reposição e materiais de construção; ao suporte técnico e disponibilidade de produtos químicos, caso haja profissional qualificado para operação (Di Bernardo; Paz, 2008).

De acordo com García e Galvis (2000), os critérios para sustentabilidade no tratamento de água devem: a) acomodar a cultura local, considerando o nível de serviço disponível, capacidade de pagamento e possibilidade de operação e manutenção; b) adequar a tecnologia ao pessoal capacitado; c) admitir que pode haver desperdício de recurso, ineficácia e abandono das instalações; d) procurar minimização dos impactos ambientais; e e) consentir que haverá estudos de tratabilidade, instalação de pilotos e adaptações na região de implantação.

Diante dessa problemática, faz-se necessário o desenvolvimento de tecnologias alternativas que disponham de água potável para a população, com baixo custo e de fácil operação e manutenção. Vale salientar que os Sistemas Alternativos Coletivos de Água podem ser providos de rede com abastecimento próprio vertical ou horizontal ou ser desprovidos de rede, sendo associados a fontes, veículos transportadores, poços comunitários e chafarizes (Brasil, 2007).

Dentre os sistemas alternativos amplamente utilizados, vem-se estudando a Filtração em Margem (FM), que consiste em utilizar poços localizados próximos às margens dos rios ou reservatórios, utilizando os materiais sedimentares do fundo e das margens do manancial superficial como meio filtrante. Com a ação do bombeamento através dos poços, cria-se uma diferença de carga hidráulica entre o manancial e o lençol freático, ocorrendo uma indução da água através do meio

poroso até o poço por percolação nos vazios do solo (Tufenkji et al., 2002; Sens et al., 2006).

Paiva et al. (2010) destacam que é um método de tratamento de água eficiente e de baixo custo. Vale salientar que o mesmo apresenta a vantagem de minimização da necessidade do uso de produtos químicos e é uma técnica de baixo custo de implantação.

Para a aplicação da técnica de Filtração em Margem, é necessário que o ambiente forneça características hidrogeológicas específicas. Com isso, faz-se necessário o conhecimento de alguns parâmetros que podem influenciar no desempenho da técnica. Devem ser analisados fatores como sazonalidade do fluxo do rio, estabilidade do canal do rio, velocidade do fluxo, características das margens e leito do rio, disponibilidade da água do rio que será induzida durante as estações seca e chuvosa, o nível de qualidade da água do rio e a zona hiporreica (Hunt et al., 2002).

Segundo Carvalho Filho (2019), a zona hiporreica refere-se a um volume de sedimentos contido no leito do rio e considerada como um ecótono de transição entre as águas superficiais e subterrâneas, onde nessa transição ocorrem processos biogeoquímicos com capacidade de atenuação de poluentes.

A zona hiporreica funciona como um regulador no fluxo de água e pode ser considerada um filtro natural capaz de atenuar e desacelerar processos físico-químicos que afetam tanto o meio superficial quanto o ambiente subterrâneo (Brunke; Gonser, 1997).

Diante da escassez dos recursos hídricos, que é um problema que está no cerne das questões sociais e ambientais, e a necessidade de se obter água em boa quantidade e qualidade, a FM é uma técnica alternativa, eficaz e barata para a produção de água tratada, pois dispensa a necessidade de grandes estações convencionais de tratamento e a utilização de produtos químicos, facilitando o acesso de comunidades carentes à água de qualidade.

A técnica de FM vem sendo investigada pelo grupo de FM da UFPE em projetos piloto na cidade do Recife-PE. Diante dos resultados promissores observados, busca-se avaliar a aplicabilidade da mesma em outras localidades.

Através da interação indireta com a Companhia Pernambucana de Saneamento (Compesa), objetiva-se expandir o estudo da FM para novos locais potenciais, tendo como possibilidade as margens do rio São Francisco.

Diante disso, este trabalho visa contribuir com conhecimentos sobre a zona hiporreica, o que é muito importante para o desenvolvimento desta técnica nas comunidades rurais no semiárido e para a gestão dos recursos hídricos para estas regiões.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar os fatores determinantes para a implantação do projeto de FM em uma localidade do semiárido, em Petrolândia, nas margens do rio São Francisco.

2.2 Objetivos específicos

- Investigar e propor local nas margens do rio São Francisco para implantação de sistema de FM;
- Avaliar dados geohidroambientais na área de estudo para potencial local de implantação da FM;
- Caracterizar fisicamente a zona hiporreica dos pontos estudados através de análises granulométricas;
- Caracterizar biologicamente a zona hiporreica dos pontos estudados através das análises de meiofauna e microfitobentônicos.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Rio São Francisco

De acordo com dados obtidos no Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco – PBHSF 2016-2025, a bacia hidrográfica do rio São Francisco apresenta uma área de drenagem de 639.219km² e seu eixo principal tem extensão de 2.863km. Sua nascente é localizada em Minas Gerais, na Serra da Canastra, e sua foz está localizada na divisa dos estados de Alagoas e Sergipe. Sua bacia hidrográfica tem parte de sete unidades da federação, sendo seis estados (Alagoas, Bahia, Goiás, Minas Gerais, Pernambuco e Sergipe) e o Distrito Federal. A bacia é dividida em quatro unidades: Alto São Francisco, Médio São Francisco, Submédio São Francisco e Baixo São Francisco.

A bacia apresenta clima variando entre quente e úmido e semiárido, com índices pluviométricos médios anuais variando entre cerca de 400mm na região do Submédio São Francisco a cerca de 1400mm na região do Alto e Médio São Francisco (PBHSF, 2016). A precipitação apresenta, ainda, importante variação sazonal na bacia, com o período chuvoso ocorrendo entre outubro e março na região do Alto e Médio São Francisco, de janeiro a abril no Submédio São Francisco e de março a agosto no Baixo São Francisco.

De acordo com informações obtidas no PBHSF (2016), na região de estudo, o Submédio São Francisco, cerca de 60,4% da população reside na zona urbana. Em relação aos setores usuários relacionados aos consuntivos e não consuntivos, ressalta-se o uso de irrigação na região de estudo. Em 2010, cerca de 40% da população do Submédio São Francisco trabalhava na agricultura, pecuária, produção florestal e na aquicultura.

Em relação aos índices de atendimento dos serviços de saneamento, os valores obtidos do Panorama do Saneamento Básico no Brasil no ano de 2021, o município de Petrolândia apresenta uma cobertura de abastecimento de água de 100%, coleta de esgoto em 17,2% e coleta de resíduos cerca de 98,32% (Brasil, 2021).

3.2 Águas subterrâneas

Considerando a configuração urbana e a forma de expansão da malha urbana em direção aos mananciais, vem-se observando a degradação da qualidade das águas superficiais, trazendo problemas, tanto em sua condição bruta como na água já tratada, sobrepondo especialmente os problemas de poluição antrópica às alterações climáticas presentes na região. Silva (2008) destaca que, como consequências dessa sobreposição de fatores, podem surgir na água tratada características associadas à presença de microalgas, cianobactérias e seus produtos extracelulares: sabor e odor, formação de trihalometanos (THM) e corrosão de unidades do sistema de abastecimento. Nesse contexto, na água bruta, é comum que surjam florações de cianobactérias, que se acentuam de acordo com a disponibilidade de fósforo e nitrogênio, provenientes principalmente da poluição aquática.

Com isso, vêm-se estudando formas alternativas de tratamento de água e de diferentes fontes, sendo o manancial subterrâneo um recurso utilizado por ampla parcela da população brasileira (Silva; Araújo, 2003).

As águas subterrâneas são aquelas que se encontram abaixo da superfície do solo, preenchendo completamente os poros das rochas e dos sedimentos, e constituindo assim os chamados aquíferos. As águas subterrâneas representam 97% das águas doces e líquidas do planeta, o que torna os aquíferos o maior reservatório de água potável da humanidade.

As águas subterrâneas tendem a se apresentar em boa qualidade e melhores condições de proteção a possíveis efeitos das mais diferentes intervenções antrópicas ou dos distintos tipos de uso e ocupação do solo, que possam alterar a qualidade e/ou a quantidade da água.

Dessa forma, os mananciais subterrâneos têm assumido cada vez mais o papel de fonte estratégica de recurso hídrico, sobretudo no cenário atual que vem apresentando crescimento demográfico significativo, aglomerações urbanas cada vez maiores, pressões ambientais e um incremento de produção de alimentos, entre outros, aliados às significativas mudanças climáticas globais em curso.

De acordo com Feitosa e Manoel Filho (1997), a exploração das águas subterrâneas apresenta as seguintes vantagens em relação às águas superficiais:

- a) dispensa tratamento químico que onera bastante as águas superficiais em dispendiosas ETAs (Estações de Tratamento de Água);
- b) não acarreta inundação de áreas aproveitáveis na superfície, muitas vezes representadas por excelentes solos agricultáveis;
- c) a área de captação e proteção é extremamente reduzida;
- d) permite uma distribuição setorizada, com baterias de exploração constituindo sistemas isolados ou interligados;
- e) a rede de adução até o reservatório ou caixa d'água é, em geral, de pequena extensão, ao contrário das barragens que requerem redes adutoras de vários quilômetros de extensão;
- f) a implantação do sistema pode ser efetuada de maneira gradativa, ao longo do tempo, na medida em que ocorra aumento na demanda, evitando períodos de sobra logo que se constrói uma barragem e períodos de déficit quando a demanda ultrapassa a sua capacidade. Essa flexibilidade evita a aplicação de grandes investimentos concentrados em curto espaço de tempo;
- g) não implica desapropriação de grandes áreas como as barragens, que representam vultosos gastos financeiros;
- h) independe de períodos de estiagem prolongados para recarga anual, como nos reservatórios de superfície;
- i) o prazo de execução de um poço é de dias, em contraposição a meses e até anos no caso de barramento de um rio;
- j) as águas subterrâneas não estão sujeitas, como as superficiais, ao intenso processo de evaporação, que implica em perdas consideráveis, principalmente nas regiões de clima quente;
- k) o sistema é mais protegido de eventuais poluições antrópicas;
- l) os impactos ambientais são mínimos ou bem restritos em relação às águas superficiais;
- m) a manutenção é mais segura, pois a paralisação para manutenção de uma unidade de bombeamento, até mesmo sua substituição, pode ser efetuada sem prejuízo para o conjunto, o que não ocorre seguramente no sistema de bombeamento/tratamento de água superficial;
- n) os poços perfurados dentro dos padrões técnicos normalmente têm vida útil superior a vinte anos, com amortização dos investimentos realizados em apenas cinco a oito anos.

Segundo a ANA (2010), 52% dos 5.570 municípios brasileiros são abastecidos total (36%) ou parcialmente (16%) por águas subterrâneas. A exploração desse recurso hídrico é inversamente proporcional ao tamanho das cidades. As águas subterrâneas são a opção exclusiva para 48% dos municípios com população menor que 10 mil habitantes e para 30% daqueles com 10 a 50 mil habitantes.

Dados apontam que as águas subterrâneas são fundamentais para o abastecimento de pequenas cidades. Mesmo para localidades que possuem rede pública, a presença de um grande número de poços privados atenua significativamente os sérios problemas de oferta hídrica, evitando assim um colapso no abastecimento urbano. As pessoas não assistidas pelos prestadores do serviço público de água e esgoto, somadas àquelas que contam com água encanada e que utilizam as águas subterrâneas por poços privados em centros urbanos, resultam em um número de usuários de água subterrânea muito maior que o reportado nas estatísticas oficiais.

O potencial de recarga do aquífero depende de suas características, tais como tamanho da área de recarga e o índice pluviométrico médio onde ele se encontra. Logo, cada aquífero tem suas particularidades, exigindo ações específicas de uso e exploração que garantam, individualmente, a sustentabilidade de cada sistema ou domínio aquífero. Especialistas orientam que só é possível explorar ou explotar (exploração racional) o equivalente a 25% do potencial de recarga anual dos mesmos; esse valor constitui uma margem de segurança (ANA, 2001).

3.3 Filtração em margem

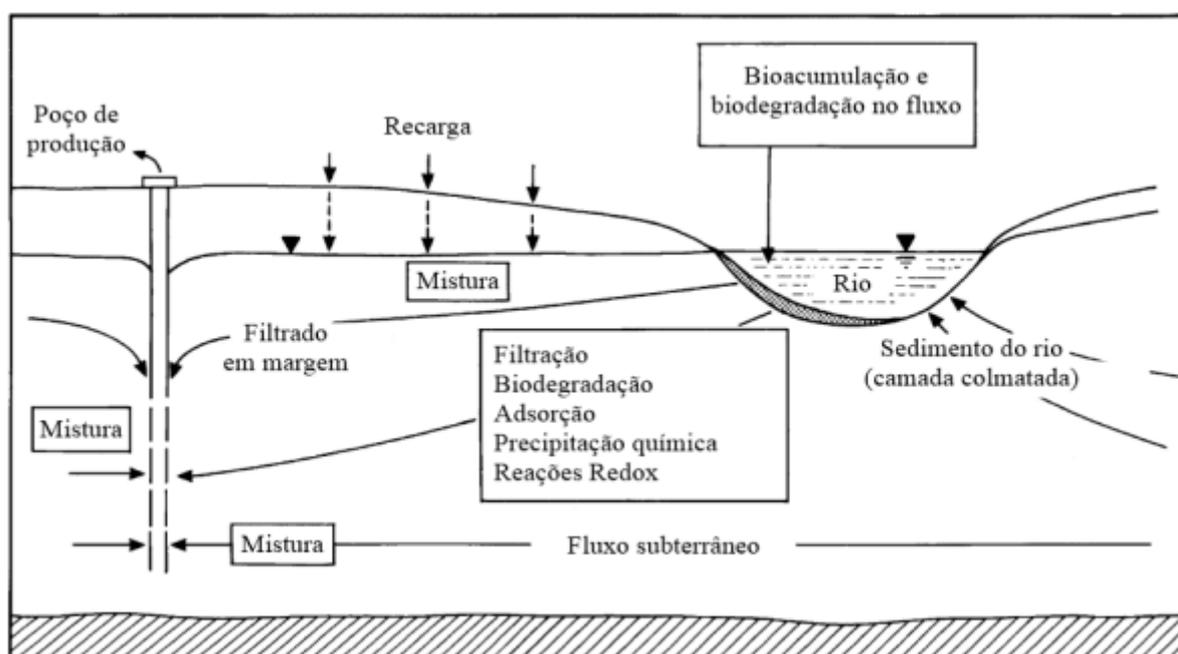
A filtração em margem (FM), que pode ser em lago (FML) ou em rio (FMR), consiste na extração, por bombeamento, de água subterrânea através de um ou mais poços, localizados frequentemente próximos da margem, com encaminhamento desta água para um reservatório de distribuição (Brasil, 2018).

Ray (2002) destaca que a FM é um método alternativo de tratamento d'água que se baseia na indução da água superficial de um rio ou lago através da ação de uma bomba instalada em um poço próximo às margens do manancial superficial. A água, ao passar pelos finos do solo, sofre processos que melhoram

bastante a sua qualidade. O bombeamento causa um cone de depressão no poço coletor, gerando uma carga hidráulica inferior à do manancial superficial, induzindo assim a água do manancial até o poço através do meio poroso.

Como os sedimentos da margem proporcionam uma filtração de taxa lenta, estes atuam como meio filtrante através da instalação de um poço próximo. A diferença de nível hidráulico entre o manancial e o lençol freático propicia o escoamento de água até o poço de sucção (Sens et al., 2006). Na Figura 1, exhibe-se o esquema da técnica de FM.

Figura 1 - Esquema da técnica de filtração em margem



Fonte: Adaptado de Hiscock e Grischek (2002).

No sistema de tratamento, são observados vários processos naturais, incluindo filtração, biodegradação, adsorção, precipitação química e melhoria da qualidade da água por meio de processos redox durante a passagem subsuperficial da água de superfície através dos materiais de leito do rio e do aquífero (Hiscock; Grischek, 2002).

3.3.1 Configurações da Filtragem em Margem

Dentre os fatores que influenciam diretamente a eficiência do sistema de FM, têm-se a disponibilidade hídrica do rio que será induzida no aquífero,

qualidade da água, velocidade e caminho do fluxo, características do leito, sazonalidade do fluxo do rio, perenidade dos sistemas e estabilidade do canal, o tipo de poço a ser construído, sua geometria, arranjos e distância com a margem do corpo d'água (Hiscock; Grischek, 2002; Ray et al., 2002).

a) Características do aquífero

Paiva (2009) destaca que as condições ideais incluem aquíferos aluvionares de granulação grossa, permeáveis e com conexão hidráulica com os materiais do leito do rio. Como o objetivo do sistema é que ocorra a recarga natural do aquífero pelo manancial, é necessário que o ambiente seja não confinado.

Outro ponto importante é o tempo de viagem da água, que influencia diretamente na qualidade do tratamento, sendo a granulometria do sistema e a distância entre o rio e o poço os fatores determinantes. O tempo curto de viagem pode diminuir a eficiência do tratamento, enquanto uma longa distância do poço e/ou existência de um pacote sedimentar muito fino podem restringir a coleta de água para o sistema subterrâneo (Sens et al., 2006; Freitas et al., 2018).

b) Qualidade da água

Fontes de contaminações nas águas superficiais e subterrâneas influenciam diretamente na qualidade da água produzida pelo sistema de FM. A FM é considerada, no mínimo, como um pré-tratamento na produção de água para abastecimento público. Em alguns casos, a FMR pode funcionar como o tratamento final antes da desinfecção (Ray et al., 2002; Freitas, 2010; Grischek; Bartak, 2016).

Os processos naturais, físico-químicos, hidrodinâmicos e biológicos, atuantes durante o processo, são capazes de atenuar compostos indesejáveis de forma sustentável. Dentre os efeitos positivos da FM, estão a eliminação de sólidos suspensos e partículas; compostos biodegradáveis, orgânicos e inorgânicos; bactérias, vírus e parasitas; eliminação parcial de compostos adsorvíveis; e equilíbrio na mudança de temperatura e concentração de compostos dissolvidos (Kuehn; Mueller, 2000; Hiscock; Grischek, 2002; Sahoo et al., 2005).

Por outro lado, a FMR pode ter alguns efeitos indesejados dependendo de condições no meio e mudanças redox, como aumento da dureza da água, além das concentrações de ferro e manganês (Hiscock; Grischek, 2002).

c) Colmatação e ciclos de inundação/seca

A atividade microbiana e a retenção de partículas finas (<2mm) nos interstícios, assim como a deposição e precipitação química, podem diminuir a permeabilidade do meio e limitar a infiltração da água superficial em direção ao poço (Hiscock; Grischek, 2002; Tufenkji; Ryan; Elimelech, 2002).

Existem algumas vantagens associadas à colmatação, como o aumento da eficiência de filtração natural e biodegradação de contaminantes, entretanto, a perda da permeabilidade pode diminuir de forma significativa a produtividade do poço (Hiscock; Grischek, 2002).

d) Morfologia do rio

A existência de margens estáveis e um leito arenoso no manancial são fatores necessários para a FM. Além disso, a morfologia do rio e a declividade superficial são determinantes na eficiência da técnica, visto que a alteração da velocidade de fluxo, o transporte de sedimentos e o nível de erosão controlam a formação de camadas colmatadas ao longo do rio (Romero-Esquivel et al., 2016).

3.3.2 Filtração em margem no mundo

Em alguns países europeus, a técnica da FM está sendo utilizada para abastecimento público. Na cidade de Dusseldorf, na Alemanha, a FM no rio Reno tem sido utilizada no pré-tratamento da água desde 1870 (Eckert, Irmischer, 2006). Na Alemanha, aproximadamente 16% de toda a água potável é produzida pela FM (Schmidt et al., 2003).

Em Berlim, cerca de 56% de toda a população é abastecida por água resultante da técnica da FM (Lorenzen et al., 2010). Atualmente, 80% da água potável utilizada na Suíça provém da FM, 50% na França, 48% na Finlândia, 40% na Hungria e 7% nos Países Baixos (Uniyal, 2018).

Na China, a FM já é utilizada como uma técnica de abastecimento de água potável para a população. O primeiro poço da FM foi construído no Nordeste do país, na década de 1930. Especialmente no Norte da China, a tecnologia tem se desenvolvido desde então (Hu et al., 2016).

De acordo com Gillefalk et al. (2018), 57 países já produziram estudos sobre a FM. Nesses diversos estudos, a FM tem se mostrado uma técnica potencial na purificação da água, podendo ser utilizada como, pelo menos, pré-tratamento, reduzindo o custo desse processo (Cady et al., 2013; Pholkern, 2015; Weiss, 2005).

3.3.3 Filtração em margem no Brasil

No Brasil, há alguns projetos pilotos que estão sendo desenvolvidos através de pesquisas das universidades federais de Santa Catarina (UFSC) e Pernambuco (UFPE), localizados na Lagoa do Peri, Florianópolis, e no Rio Beberibe, em Olinda, respectivamente (Sens et al., 2006; Paiva, 2009; Romero-Esquivel et al., 2016).

Destacam-se também estudos para avaliação da técnica para abastecimento de comunidades isoladas no rio Belo, em Orleans (SC) (Guedes et al., 2017), e no Reservatório de Mundaú, Garanhuns (PE) (Santos et al., 2014); em Rio Grande do Sul para análise de viabilidade de implantação em diferentes mananciais (Emmendoerfer, 2020); e no Rio Capibaribe, em Recife (PE) (Cruz, 2019).

Em 2013, iniciou estudos de um projeto piloto na Universidade Federal de Viçosa (UFV), no estado de Minas Gerais, a fim de produzir dados hidrogeológicos para caracterização desse sistema. Rocha e Marques (2015) concluíram que a hidrologia local favorece a eficiência da técnica da FM, podendo ser uma alternativa de baixo custo para captação da água, sobretudo em períodos secos.

3.4 Zona hiporeica

A zona hiporreica é a zona de interação entre a água superficial e a água subterrânea, tem como característica ser uma região de intensa atividade biogeoquímica, onde acontece a ciclagem de nutrientes (Tufenkji; Ryan;

Elimelech, 2002), e de habitat e refúgio para uma série de organismos (Hannah et al., 2009), onde a água flui através dos interstícios dos sedimentos que são predominantemente anisotrópicos (Lu et al., 2012), atuando assim, como um filtro físico, químico e biológico (Mugnai et al., 2015).

O fluxo de água que ocorre devido à interação rio-aquífero na zona hiporreica favorece o estabelecimento de organismos, pois existe uma grande infiltração de matéria orgânica nos interstícios dos sedimentos (Veras et al., 2017). Esses organismos são bastante dinâmicos e podem ser compostos por micróbios, meiofauna e macroinvertebrados.

Uma vez que a ZH se portar como uma área de atividade biogeoquímica ativa responsável por influenciar a qualidade da água de recarga do aquífero subjacente ao rio, Veras et al. (2016) destacam a importância de estudá-la para concepção e análise em um projeto de FM.

De acordo com Dahm et al. (1998), a ZH sofre influência da porosidade dos sedimentos, da morfologia do leito, da força de ressurgência das águas e do fluxo de descarga. E seu tamanho depende da extensão e da força dessas interações.

3.5 Meiofauna

Também conhecida por meiobentos, a meiofauna é o grupo de animais invertebrados que ocupa uma grande variedade de ambientes intersticiais, desde ambientes com alta salinidade até ambientes com baixa, sendo definidos metodologicamente como todos os metazoários retidos em uma peneira de 42 μ m e que são capazes de passar por uma peneira de 500 μ m (Coull, 1999).

A meiofauna apresenta a capacidade de facilitar a degradação da matéria orgânica, exercendo uma tarefa na absorção de nutrientes que favorecem a eficiência natural de autopurificação na interface água subterrânea-superficial (Giere, 2009).

A meiofauna propicia a formação de biofilmes na zona hiporreica pelo estímulo de processos microbianos que ela exerce, contribuindo para o aumento da colmatação, o que influencia a qualidade da água de recarga de um aquífero. Por isso, a preservação da zona hiporreica, e conseqüentemente de sua meiofauna, é uma condição primária para o seu bom funcionamento na absorção de nutrientes (Liu et al., 2017).

As variações sazonais são imprescindíveis no comportamento da fauna hiporreica. No período de alta vazão, a macrofauna possui um papel dominante e a meiofauna, um papel subordinativo, apesar de sua considerável diversidade. No período intermediário de vazão, a meiofauna ganha importância. No período de baixa vazão, os níveis de oxigênio do rio tendem a ser menores, o que força uma migração ascendente dos organismos da meiofauna para camadas mais superficiais da zona hiporreica e pode causar perdas por deriva (Giere, 2009).

Nos períodos de cheia, o fluxo da água altera morfologicamente o leito do rio, limpando as camadas de colmatação e contribuindo para a formação de caminhos preferenciais da água para camadas mais profundas, elevando os níveis de oxigênio nestes pontos. Assim, os organismos da meiofauna podem migrar para camadas mais profundas do leito em resposta às elevações no fluxo do rio (Freitas, 2018).

3.6 Microfitobentos

O microfitobentos (MFB) é formado por organismos unicelulares, principalmente diatomáceas, euglenófitas e cianobactérias, que vivem aderidos a sedimentos mais superficiais (Jesus, 2005), onde podem estar unidos a substratos de origem inorgânica, como grãos de areia e rochas; ou substratos de origem orgânica, como macroalgas e fanerógamas (Trindade, 2007).

Uma das principais características do MFB é a capacidade de produzir películas biofilmes na interface sedimento-água, podendo apresentar cores diferentes a depender da composição florística. (Macintyre; Geider; Miller, 1996).

A presença do MPB pode ser avaliada através da determinação de sua biomassa, expressa pelos valores dos pigmentos presentes na sua matéria viva (pigmento por unidade de peso), e a clorofila-a é um desses pigmentos, sendo utilizada como medida indireta da biomassa microfitobentônica de praias (Plante-Cuny, 1978).

De acordo com Freitas (2018), em uma determinada área, quanto maior for a razão clorofila-a/feopigmentos, maior será o indicativo de taxa de herbivoria, devido ao fato de que, segundo Hawkins et al. (1986), os feopigmentos são

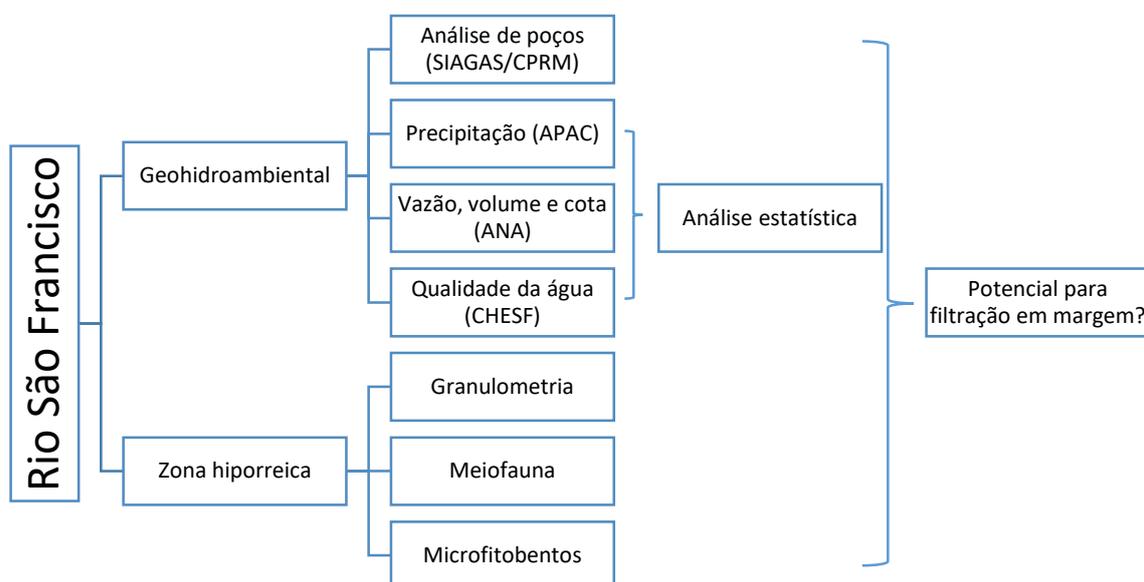
produtos da degradação da clorofila-a quando passa pelo trato digestivo de consumidores.

Os MFB, em sua produção primária, transformam nutrientes inorgânicos e gás carbônico em matéria orgânica (Netto et al., 2007). Como a meiofauna é o maior consumidor dos MFB, ela é responsável pela transferência do carbono proveniente da produção primária microfitobentônica para a cadeia alimentar. (Montagna; Blanchard; Dinet, 1995).

4 METODOLOGIA

A presente pesquisa envolveu as atividades de investigação de dados secundários com análises e coleta de campo, tais como: dados de geologia e de hidroambientais extraídos da SIAGAS/CPRM, ANA, APAC e CHESF e a análise de granulometria, meiofauna e microfítobentos (Figura 2). Cada uma destas atividades desenvolvidas será detalhada a seguir, iniciada por uma breve introdução sobre a área de estudo.

Figura 2 - Fluxograma de trabalho nesta pesquisa



Fonte: A Autora (2025).

4.1 Área de estudo

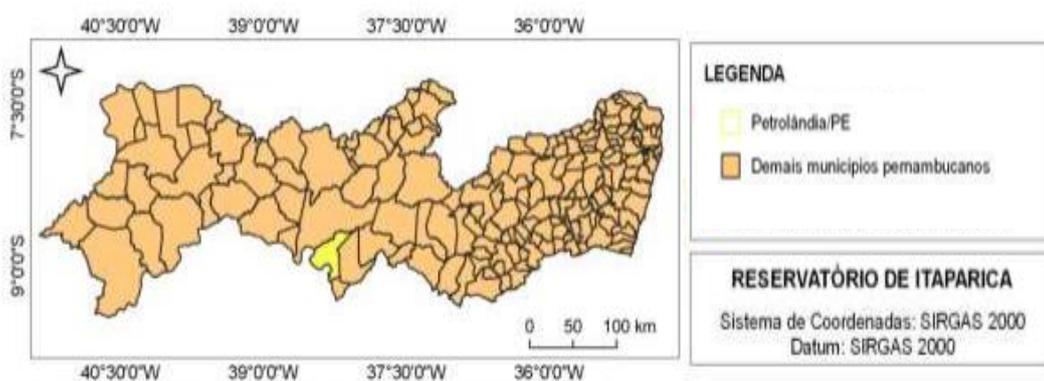
Silva (2023) e Nascimento (2022) desenvolveram estudos preliminares em municípios nas margens do rio São Francisco, sendo avaliados: Orocó, Santa Maria da Boa Vista e Petrolândia. Destes, Petrolândia apresentou resultados mais favoráveis para a implantação da FM, por isso este local foi escolhido para dar continuidade ao estudo (Figura 3), nas margens do reservatório de Itaparica.

O município de Petrolândia está localizado na mesorregião do São Francisco Pernambucano, microrregião de Itaparica, Região de Desenvolvimento Sertão de Itaparica, limitando-se ao norte com Floresta, ao sul com Jatobá, a leste

com Tacaratu e a oeste com o estado da Bahia. A sede municipal encontra-se a 282 metros de altitude em relação ao nível do mar e tem sua posição geográfica determinada pelo paralelo de 09° 04' 08" E e 38° 18' 11" S. Seu clima é semiárido quente, sua vegetação é cantiga hiperxerófila (IBGE, 2023).

O reservatório de Itaparica é formado pelo represamento, a partir da Barragem de Itaparica, jusante da cidade de Petrolândia, no km 315 do rio, e a 35 km do início do “canyon” que une o baixo e o submédio do rio São Francisco (Carvalho, 2009). Possui uma capacidade de armazenamento da ordem de 10.782 hm³ de água e ocupa área de 828 km². Sua bacia hidrográfica é composta pelo rio São Francisco e por rios intermitentes, os principais tributários são os riachos do Retiro, Moselo, Malagueta, da Guaraíba e rio Pajeú (Chesf, 2010; CBHSF, 2015).

Figura 3 - Localização da área de estudo, Petrolândia – Pernambuco



Fonte: A Autora (2022).

4.2 Análise de dados hidrogeoambientais

O estudo contemplou o levantamento de dados hidrogeoambientais, abrangendo trabalhos acadêmicos e artigos científicos, como também, consulta em bancos de dados para a compilação das informações necessárias para realizar o levantamento de informações da área de estudo e a avaliação físico-química e bacteriológica do manancial superficial. A seguir uma descrição das fontes e período das variáveis estudadas, como: precipitação, geologia, hidrogeologia, hidrologia e qualidade da água. No subtópico 4.2.1 será abordado o detalhamento das análises estatísticas realizadas.

- Características climáticas

Realizou-se a análise da caracterização climática através do levantamento dos dados de pluviosidade de totais anuais e mensais para a região de estudo. Extraiu-se o acumulado mensal do índice pluviométrico entre os anos de 1993 a 2023 da estação pluviométrica denominada Posto Petrolândia, Código 49 (APAC, 2024) e fez-se a tabulação dos mesmos em planilha do Excel. Para auxiliar na análise, realizaram-se as medidas descritivas, com uso de gráficos do tipo box-plot e de barras ou linhas.

- Geologia e hidrogeologia

Para análise da geologia e hidrogeologia, fez-se uma análise das formações geológicas nas margens do reservatório a partir de dados bibliográficos e a verificação dos perfis litológicos dos poços cadastrados no SIAGAS/CPRM (2024), situados no entorno da área. A partir dos dados levantados, pretende-se obter a caracterização do solo e do aquífero na área estudada.

- Hidrologia

O estudo da hidrologia foi desenvolvido com auxílio de dados de cota, vazão natural e volume útil da estação fluviométrica UHE Luiz Gonzaga, Código 19122, entre os anos de 2010 a 2023 (ANA, 2024). Os mesmos foram organizados em planilha do Excel para análise descritiva, com uso de gráficos do tipo hidrograma e box-plot.

- Qualidade das águas superficiais

Foram utilizados dados de análises físicas, químicas e biológicas do manancial, reservatório de Itaparica, obtidos a partir da estação de monitoramento, ITA11 (Figura 4), próximo ao ponto de estudo da Companhia Hidroelétrica do São Francisco – CHESF no período de 2016 a 2021 (Chesf, 2024).

As análises foram feitas em duplicatas para os parâmetros: temperatura, pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, salinidade, transparência, amônia, nitrato, nitrogênio total, ortofosfato, fósforo total, COT, alcalinidade total, dureza total, turbidez, DBO, clorofila-a, densidade total, clorófitas, diatomáceas, cianobactérias e dinoflagelados.

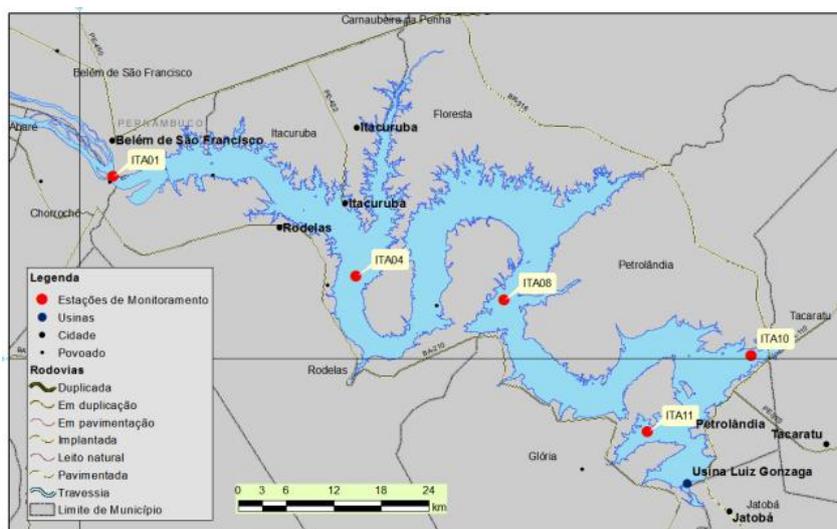
A partir dos resultados obtidos, fez-se a média de cada parâmetro e organizou-se os dados em planilha Excel para realização das análises. As coordenadas da estação analisada estão na Tabela 1.

Tabela 1 - Localização da estação de monitoramento da Companhia Hidro Elétrica do São Francisco

Estação	Latitude	Longitude
ITA 11	-08 59' 47.60121"	-38 14' 09.02567"

Fonte: A Autora (2025).

Figura 4 - Localização da estação de monitoramento da Companhia Hidro Elétrica do São Francisco



Fonte: Chesf (2016).

4.2.1 Análise estatística

Inicialmente, fez-se análise estatística descritiva com o auxílio do Excel para os períodos mensal ou dados totais, seco e chuvoso, através dos parâmetros média, mínimo, máximo, desvio padrão e coeficiente de variação. A fim de verificar a variação dos parâmetros e assim obter uma representação mais real do comportamento dos mesmos, fez-se a análise dos dados mensais através do

gráfico Box-plot. Em relação aos dados de qualidade de água, foi feito o Box-plot apenas dos parâmetros que influenciam na eficiência do sistema de FM, são eles: temperatura, pH, salinidade, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, turbidez, fósforo total e nitrogênio total. Fez-se também o hidrograma dos parâmetros de hidrologia analisados, cota, vazão natural e volume útil, para verificar se a variação dos mesmos apresenta comportamentos semelhantes ao longo do tempo. As análises estatísticas descritas acima foram realizadas com auxílio do Excel.

Após fazer a análise individual de cada parâmetro, fez-se a organização dos mesmos dos anos 2016 a 2021, período em que há dados de todos os parâmetros analisados. As análises foram realizadas no software R e os resultados obtidos foram compilados em planilha Excel. Inicialmente, determinou-se a média anual, do período seco e chuvoso, em seguida verificou-se se os dados apresentam distribuição normal, através do teste de Shapiro-Wilk, e homogênea, através do teste de Levene. Para os dados com distribuição normal, aplicou-se o teste t-student para verificar se há diferença significativa entre os períodos secos e chuvosos, em seguida aplicou-se a análise de variância para analisar se há diferença significativa entre os anos analisados, fez uso do Posthoc-Tukey para fazer a identificação desses anos. Já para os dados que não apresentaram distribuição normal, aplicou-se o teste Mann-Whitney para verificar se há diferença significativa entre os períodos secos e chuvosos e o Kruskal-Wallis para verificação entre os anos. Por fim, fez-se a correlação dos parâmetros avaliados entre os anos de 2016 a 2021 para verificar se há significância entre os dados observados.

4.3 Investigação de características da zona hiporreica

Devido à importância da interação entre águas superficiais e águas subterrâneas para a eficiência da técnica da FM (Hiscock; Grischek, 2002), realizou-se a caracterização da zona hiporreica por meio das análises granulométrica, meiofauna e microfítobentônicos.

A Tabela 2 e a Figura 5 apresentam a localização do ponto de estudo da zona hiporreica.

Tabela 2 - Localização do ponto de coleta para avaliação da zona hiporreica

Descrição do ponto de coleta	Coordenadas geográficas
Orla de Petrolândia	-8.988726, -38.22122

Fonte: A Autora (2024).

Figura 5 - Localização do ponto de coleta em Petrolândia



Fonte: A Autora (2023).

4.3.1 Granulometria

Os sedimentos hiporreicos foram coletados nas margens do reservatório e em dois períodos diferentes: uma em abril/2023, ao final do período chuvoso, e uma em setembro/2023, ao final do período de estiagem.

Utilizou-se um amostrador do tipo corer, de plástico, liso e com área total de 261,31 cm², em que se pode afundar 10 cm no sedimento. As coletas foram realizadas em duas profundidades diferentes, de 0 a 5 cm e de 5 a 10 cm. A fim de preservar as amostras, foram mantidas sob refrigeração até o momento da realização dos ensaios. Utilizou-se um código para manter uma identificação das amostras hiporreicas com a seguinte lógica: 0-5: 0 - 5 cm de profundidade, 5-10: 5 - 10 cm de profundidade, A: Abril de 2023, S: Setembro de 2023. Então, as amostras são conhecidas por: 0-5A, 5-10A, 0-5S, 5-10S.

As análises foram realizadas no Laboratório de Energia Nuclear localizado no Departamento de Energia Nuclear (DEN), da Universidade Federal de

Pernambuco (UFPE), conforme a metodologia descrita na NBR 7181 de 2018 - Solo — Análise granulométrica (Figura 6).

A partir dos resultados alcançados, fez-se tabela e gráficos da distribuição granulométrica com auxílio do Excel.

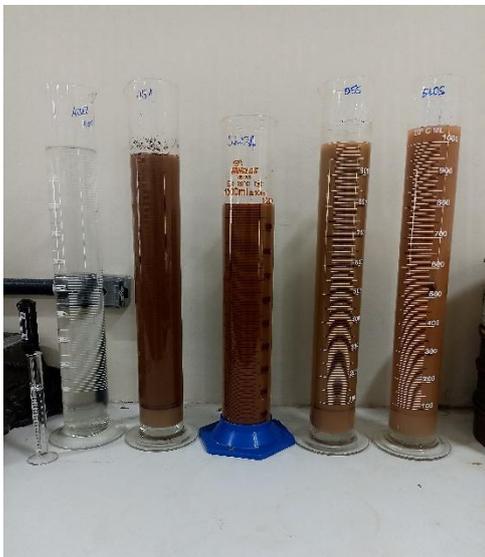
Figura 6 - Etapas da metodologia realizada para a determinação da distribuição granulométrica: (a) Separar massa para ensaio; (b) Dispersão do material; (c) Sedimentação; (d) Peneiramento



(a)



(b)



(c)



(d)

Fonte: A Autora (2024).

4.3.2 Meiofauna

As amostras de meiofauna foram coletadas nos mesmos pontos onde

coletaram as amostras para análise granulométrica e com o amostrador cilíndrico (corer) com área transversal de 11,34 cm². As coletas dos sedimentos do leito do reservatório se dão a cada 5 cm até a profundidade máxima de 10 cm, tendo como amostragem 0-5 cm e 5-10 cm. Cada amostragem foi repetida para obter, além das amostras, suas réplicas e tréplicas.

As análises seguiram a metodologia de trabalhos recentes que estudaram a meiofauna hiporreica. (Veras et al., 2017; Freitas et al., 2019; Santos et al. 2021) (Figura 7).

Após a extração dos sedimentos, as amostras foram acondicionadas em recipientes, identificadas e deverão ser imersas no formaldeído a 4% para preservação dos organismos. A título de identificação, seguiu-se a seguinte lógica: 05: 0 - 5 cm de profundidade, 510: 5-10 cm de profundidade, A: Abril de 2023, S: Setembro de 2023, A: Amostra; R: Réplica; T: Tréplica. Então, as amostras podem ser identificadas por: 05AA, 510AA, 05SA, 510SA, 05AR, 510AR, 05SR, 510SR, 05AT, 510AT, 05ST, 510ST.

De acordo com Coull (1999) e Giere (2009), para extrair a meiofauna da amostra, faz-se uma lavagem dos sedimentos hiporreicos com água filtrada sobre peneiras geológicas de aberturas de malha de 500 µm e 45 µm. Desprezando os sedimentos que ficarem retidos na peneira de malha de maior abertura (macrofauna) ou que passam na peneira de menor abertura (microfauna) por não fazerem parte da meiofauna.

Em seguida, o material retido pela peneira de 45 µm foi acondicionado em recipientes com formol a 4% e corados com rosa de bengala para facilitar a identificação e contagem. Utilizou-se da Placa de Dollfus para facilitar o manuseio e visualização da amostra por meio de uma lupa com aumento de 4x a fim de identificar e catalogar os indivíduos a nível de grupos taxonômicos.

Parte da triagem e identificação dos organismos da meiofauna foi realizada no Laboratório do Grupo Recursos Hídricos (GRH) no Centro de Tecnologia e Geociências (CTG) da UFPE, campus Recife.

O cálculo da densidade meiofaunística das amostras foi feito com a seguinte Equação 1.

$$D = \frac{N}{A} \quad (1)$$

Onde:

D = Densidade

N = número total de organismos presentes na amostra;

A = Área transversal do coletor

Em seguida, calcularam-se as médias aritméticas simples a partir das densidades.

Figura 7 - Metodologia realizada da meiofauna: (a) Coleta; (b) Peneiramento das amostras; (c) Processo de identificação e quantificação dos meiobentos



(a)



(b)



(c)

Fonte: A Autora (2024).

4.3.3 Microfitobentônicos

As coletas dos sedimentos para análise dos microfitobentos também foram realizadas em dois períodos distintos: uma em abril/2023, ao final do período chuvoso, e uma em setembro/2023, ao final do período de estiagem.

As coletas das amostras foram realizadas no sedimento superficial da zona hiporreica, com auxílio de um amostrador de 1,13 cm² de área transversal e 2 cm de profundidade. Assim como as amostras da meiofauna, foram realizadas análises replicadas para cada ponto em cada uma das campanhas.

Após coletadas, as amostras foram armazenadas em frascos âmbar e levadas à UFPE, para o Centro de Biociências (CB), no Laboratório de Dinâmica de Populações da UFPE (LABDIN) no Departamento de Zoologia.

O procedimento metodológico executado baseou-se na metodologia de Colijn & Dijkema (1981), a estimativa de quantidade de biomassa microfitobentônica é realizada a partir das equações de Lorenzen (1967), onde são obtidos valores das concentrações de clorofila-a e feopigmentos.

Inicialmente, as amostras são retiradas do freezer e armazenadas na geladeira. Para a preparação do material para análise, deve-se, 08 horas após o armazenamento na geladeira, adicionar o volume de acetona 100% PA a ser definido dependendo do ambiente. Em seguida, as amostras são novamente colocadas na geladeira, abrigadas da luz. 12 horas depois de colocada a acetona, agitar levemente as amostras. Depois do material decantar, realizar leitura no espectrofotômetro. As concentrações dos pigmentos são calculadas através das equações de Lorenzen (1967) (Figura 8).

Figura 8 - Infográfico dos processos de análise dos microfitobentos



Fonte: Carvalho Filho (2019).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Características climáticas

O clima dominante na região de Petrolândia, segundo Köppen, é do tipo BSs'h', que se caracteriza por ser muito quente, semiárido, com temperatura média anual em torno de 25°C (Brasil, 1973).

Anjos, Cadeias e Nóbrega (2016) destacam que, por ser um município localizado no semiárido nordestino, as médias de precipitação geralmente estão abaixo dos 800 mm. Os autores destacam que as chuvas se concentram no verão-outono, enquanto os meses mais secos se concentram entre julho e setembro.

De acordo com os dados da série histórica de pluviosidade do posto Petrolândia (Código: 49), o período de seca ocorre entre os meses de maio a outubro e o período chuvoso é observado entre os meses de novembro a abril. A média histórica de precipitação mensal foi de 35,04 mm para um período de 30 anos, de 1993 a 2023. A maior precipitação mensal foi em março e a menor precipitação mensal foi observada em setembro, conforme demonstrado na Tabela 3 (APAC, 2023).

Conforme observado na Tabela 3, os maiores desvios padrões são observados no período chuvoso, indicando uma maior variação de chuva em torno da média, esperado para dados de precipitação. Percebe-se que o coeficiente de variação apresentou valores superiores a 60% em todos os meses, resultado da alta variabilidade pluviométrica, indicando, assim, que os dados de pluviosidade são heterogêneos.

Tabela 3 - Dados de pluviosidade mensal do município de Petrolândia - PE

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Média	54,55	59,48	62,05	41,40	24,37	20,64	15,14	6,29	5,46	9,28	44,44	54,52
Mínimo	1,60	5,40	3,60	3,00	0,10	2,00	0,30	0,40	0,20	1,00	1,00	0,10
Máximo	309,80	129,90	204,40	162,90	61,00	63,00	47,10	15,00	18,10	30,00	115,00	269,00
Desvio padrão	69,35	38,31	53,26	36,11	18,63	19,73	12,31	4,72	6,31	9,53	37,26	68,80
CV (coeficiente de variação)	127,13	64,42	85,84	87,22	76,44	95,60	81,31	74,94	115,56	102,77	83,84	126,20

Fonte dos Dados: APAC (2023). Fonte: A Autora (2024).

Na Tabela 4, têm-se os dados estatísticos descritivos da pluviosidade para os períodos seco e chuvoso. É possível observar uma diferença significativa nos

valores de pluviosidade máxima. Observa-se que o período chuvoso apresenta uma significativa variação dos dados (desvio padrão: 52,56).

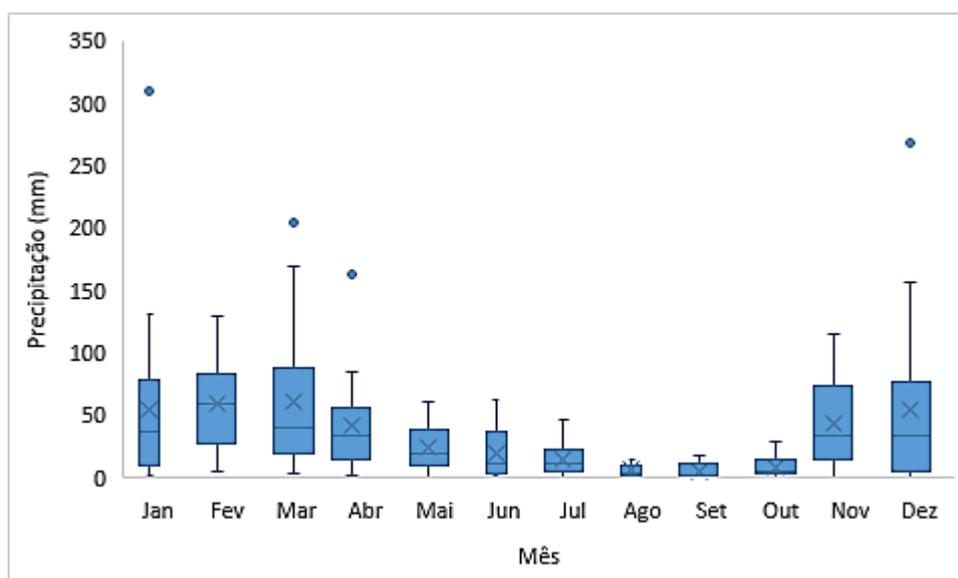
Tabela 4 - Dados de pluviosidade nos períodos secos e chuvosos do município de Petrolândia - PE

Período	Seco	Chuvoso
Média	15,55	53,52
Mínimo	0,10	0,10
Máximo	63,00	309,80
Desvio padrão	15,93	52,56
CV (coeficiente de variação)	102,46	98,21

Fonte dos Dados: APAC (2023). Fonte: A Autora (2024).

Na Figura 9, observa-se o comportamento dos dados de pluviosidade. Através desta, é possível observar uma tendência de diminuição da pluviosidade no período seco, com baixa amplitude. Em relação ao período chuvoso, são observados alguns valores discrepantes, uma significativa dispersão dos dados, indicando uma tendência de assimetria negativa.

Figura 9 - Representação Box Plot dos dados de precipitação mensal em Petrolândia - PE (1993 – 2023)



Fonte dos Dados: APAC (2023). Fonte: A Autora (2024).

Comportamento semelhante foi observado por Temóteo (2000), o autor analisou a precipitação do município com dados de cinco postos pluviométricos,

os resultados obtidos indicam que os meses de janeiro, fevereiro e março são os mais chuvosos, e agosto, setembro e outubro são os menos chuvosos.

5.2 Geologia

O município de Petrolândia – PE apresenta formação geológica a partir da Bacia Sedimentar de Jatobá, de acordo com Costa et al. (2003). A Bacia de Jatobá (Figura 10) possui uma área de cerca de 5000 km², orientação principal NE-SW e um registro sedimentar que alcança a profundidade de 3 km. Localiza-se na zona fisiográfica do Sertão do São Francisco, na porção central do estado de Pernambuco, e na bacia hidrográfica do Rio Moxotó, envolvendo total ou parcialmente os municípios de Ibimirim, Inajá, Buíque, Tupanatinga, Petrolândia, Tacaratú, Manarí, Arcoverde, Itaíba e Sertânia, no estado de Pernambuco, e Mata Grande, no estado de Alagoas (Costa Filho, 2005).

Figura 10 - Bacias sedimentares do estado de Pernambuco



Fonte: Costa Filho (2005).

Estudo desenvolvido pela CPRM (2020) indica que nas proximidades do reservatório de Itaparica, há o predomínio da Formação Inajá (Di), Formação Aliança (Ja), Formação Sergi (Js), Formação Candeias (Kc), Formação São Sebastião (Kss) e Coberturas Eluviais (TQc) (Figura 11).

De acordo com a Tabela 5, verifica-se que no local de interesse para implantação da FM, nas margens do reservatório de Itaparica, há a predominância da Formação Aliança (Ja) e Coberturas Eluviais (TQc).

Conforme recomendado por Brasil (2018), o local escolhido para a implantação da FM deve possuir areia no fundo (preferencialmente média ou fina), ou seixo rolado. Outra alternativa viável são as margens arenosas, uma vez que sofreram erosão mais facilmente, favorecendo também a autolimpeza das margens e infiltração da água.

De acordo com os perfis litológicos dos poços cadastrados no SIAGAS/CPRM (2023) em Petrolândia – PE, o perfil geológico local apresenta significativa composição arenosa, indicando assim que o local é favorável para a técnica de FM (Tabela 6).

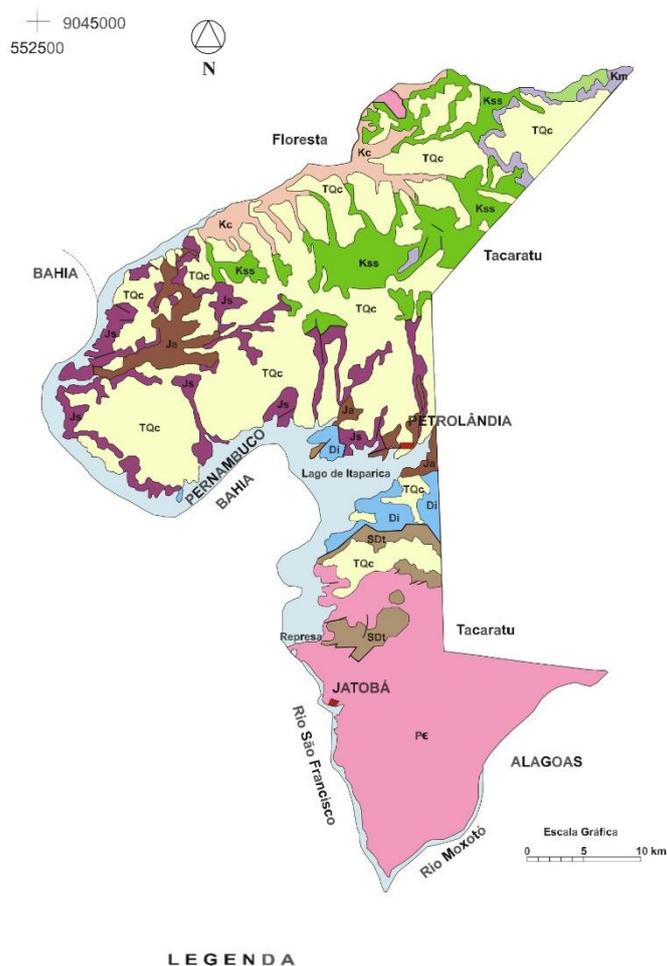
A Tabela 5 apresenta as formações geológicas observadas no município de Petrolândia – PE.

Tabela 5 - Formações geológicas do município de Petrolândia - PE

Formação	Caracterização litológica
Formação Inajá	Arenitos finos a médios, intercalados por siltitos e folhelhos.
Formação Aliança	Folhelhos e siltitos, com intercalações de arenitos finos, localmente grosseiros, além de calcarenitos e calcissiltitos.
Formação Sergi	Arenitos com granulometria variando de grosseira a fina, às vezes conglomerática.
Formação Candeias	Folhelhos e siltitos argilosos, intercalados por arenitos grosseiros a finos, contendo níveis de calcarenitos e calcissiltitos silicificados.
Formação São Sebastião	Arenitos médios a finos, com raros níveis grosseiros na base, gradando para arenitos finos a muito finos em direção ao topo.
Coberturas Eluviais	Caráter predominantemente arenoso e formam extensos areais, cobrindo diversas formações.

Fonte: Adaptado de CPRM (2020).

Figura 11 - Geologia do Município de Petrolândia – PE



IDADE	UNIDADE ESTRATIGRÁFICA	LITOLOGIA
CENOZÓICO	TQc ELUVIÕES	AREIAS
	Km FORMAÇÃO MARIZAL	ARENITOS E CONGLOMERADOS
MESOZÓICO	Kss FORMAÇÃO SÃO SEBASTIÃO	ARENITOS
	Kc FORMAÇÃO CANDEIAS	FOLHELHOS E ARENITOS
	Js FORMAÇÃO SERGI	ARENITOS
PALEOZÓICO	Ja FORMAÇÃO ALIANÇA	FOLHELHOS E SILTITOS
	Di FORMAÇÃO INAJÁ	ARENITOS E SILTITOS
PRÉ-CAMBRIANO INDIVISO	SDt FORMAÇÃO TACARATU	ARENITOS CONGLOMERÁTICOS
	Pe EMBASAMENTO CRISTALINO	ORTOGNAISSES E GRANITOS

- Contato Geológico
- Falhas ou Fraturas
- Principais Localidades
- Limites Municipais

Fonte: CPRM (2020).

Tabela 6 - Perfis litológicos obtidos a partir dos poços cadastrados no SIAGAS/CPRM de Petrolândia – PE

Código do Ponto	Localidade	Latitude	Longitude	De (m)	Até (m)	Litologia
2600001578	Fazenda Gororoba - I - AABB	-9,066666	-38,288055	0	1	Areia Média
				1	29	Arenito Médio
2600001579	Fazenda Rocado	-9,069444	-38,286111	0	2	Areia Média
				2	23	Arenito Médio
2600001580	Fazenda Gororoba II	-9,076666	-38,289722	0	3	Areia Média
				3	35	Arenito Médio

				35	90	Granito
2600001582	Barreiras	-9,009722	-38,305555	0	1	Areia Média
				1	106	Arenito Médio
2600001602	Mandacaru	-8,745	-38,25	0	6	Solo
				6	74	Folhelho
2600001608	Barreiras II	-9,016666	-38,268333	0	98	Arenito Médio
				98	128	Argilito
				128	200	Arenito Médio
2600005033	Quixabinha	-8,941666	-38,291666	0	94	Arenito Médio
2600005035	Barreiras	-8,925	-38,272222	0	106	Arenito Médio
2600005036	Lagoa Das Areias	-8,85	-38,433333	0	94	Arenito Médio
2600005141	Fazenda Rocado	-9,07	-38,286111	0	24	Arenito Médio
2600010118	Apolonio Sales	-8,986388	-38,272777	0	12	Areia Fina
				12	180	Folhelho
				180	186	Arenito Médio
				186	216	Arenito Fino
				216	228	Arenito Médio
				228	240	Arenito Fino
				240	258	Arenito Médio
				258	276	Conglomerado
				276	294	Arenito Fino
				294	306	Arenito Siltoso
				306	324	Folhelho
				324	333	Argila Arenosa
				333	336	Rocha Cristalina Não Identificada
2600010513	Nova Petrolândia IV	-8,9775	-38,213611	0	3	Areia Siltosa
				3	18	Arenito Siltoso
				18	54	Folhelho Calcífero
				54	87	Arenito Fino
				87	93	Arenito Médio
				93	102	Arenito Siltoso
				102	114	Folhelho Calcífero
				114	123	Areia Argilosa
				123	132	Argila Siltosa
				132	135	Arenito Médio
				135	141	Arenito Muito Fino
				141	144	Arenito Siltoso
				144	150	Arenito Fino
				150	153	Argila
				153	180	Arenito Médio
				180	183	Arenito Siltoso
				183	189	Arenito Médio
				189	192	Arenito Argiloso
				192	216	Arenito Médio
				216	222	Arenito Muito Fino
222	225	Arenito Argiloso				
225	228	Arenito Siltoso				
228	234	Argila				
234	237	Arenito Médio				

237	246	Silte
246	252	Arenito Muito Fino
252	282	Arenito Fino
282	285	Folhelho
285	295	Arenito Médio
295	298	Argila Arenosa
298	313	Arenito Siltoso
313	325	Arenito Muito Fino
325	337	Arenito Médio
337	343	Arenito Fino
343	346	Arenito Médio
346	354	Arenito Fino

Fonte dos Dados: SIAGAS/CPRM (2023). Fonte: A Autora (2024).

Sahu et al. (2019) observaram que a concentração de solos finos pode influenciar a da água no processo de FM. Após coleta e testes com o material do solo do fundo do rio Kharala na Índia, encontraram a maior eficiência de remoção da turbidez na amostra com o teor de fino modificado em laboratório de 7,5% para 17,5%.

Murshed et al. (2020) destacam que o tamanho dos grãos pode influenciar na eficiência da FM na remoção da cor, turbidez e sólidos suspensos. O estudo foi realizado em escala laboratorial em três tipos de colunas de solos: areia, cascalho e areia com cascalho, e identificaram que as colunas de solo de areia e areia e cascalho apresentam resultados mais favoráveis.

Os poços de Petrolândia – PE cadastrados na SRHE (2010) apresentam profundidade média de 135,7 m, nível estático: 19,3 m, vazão: 12,8 m³/h, em relação à qualidade da água, os poços apresentam condutividade elétrica média de 1.139 µS/cm.

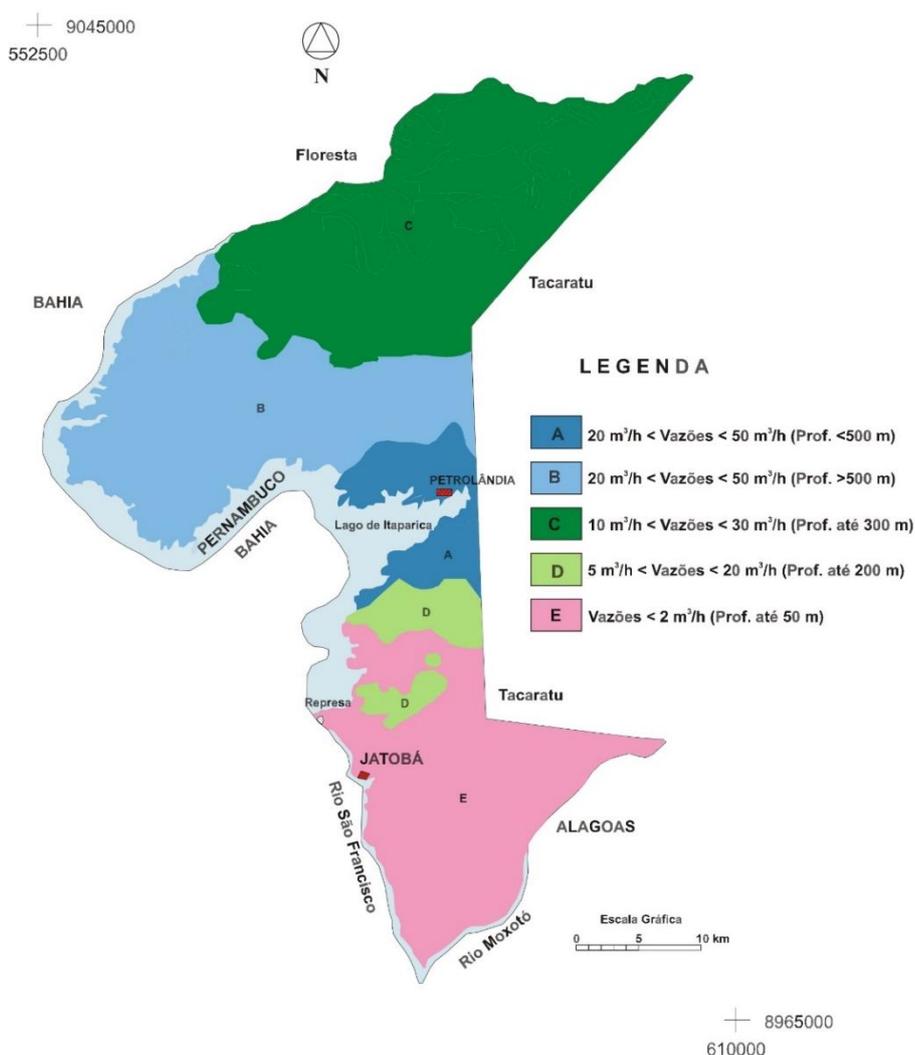
De acordo com Temóteo (2020), o município de Petrolândia apresenta dois tipos característicos de aquíferos, sendo um do tipo fissural, correspondendo aos terrenos cristalinos que abrangem toda a parte sul, e outro do tipo poroso ou intergranular, correspondendo aos sedimentos da Bacia do Jatobá que cobrem todo o restante da área.

De acordo com Temóteo (2020), o município de Petrolândia apresenta dois tipos característicos de aquíferos, sendo um do tipo fissural, correspondendo aos terrenos cristalinos que abrangem toda a parte sul, e outro do tipo poroso ou intergranular, correspondendo aos sedimentos da Bacia do Jatobá que cobrem todo o restante da área.

O aquífero do tipo fissural apresenta um baixo potencial hidrogeológico, além de qualidade físico-química inferior de suas águas, devido à grande quantidade de sais dissolvidos, restringindo seu uso ao consumo animal (CPRM, 2020).

Na Figura 12, observa-se o favorecimento hídrico no município de Petrolândia – PE. A partir desta, verifica-se que no local de interesse para implantação da FM estão as áreas de afloramento das Formações Inajá e Aliança na parte central, às vezes cobertas por eluviões, com vazões entre 20 m³/h e 50 m³/h, para captação dos aquíferos Inajá e Tacaratu, com poços de até 500 m de profundidade (CPRH, 2020).

Figura 12 - Mapa de favorecimento hídrico do Município de Petrolândia – PE



Fonte: CPRM (2020).

De acordo com Temóteo (2020), o município de Petrolândia apresenta dois tipos característicos de aquíferos, sendo um do tipo fissural, correspondendo aos terrenos cristalinos que abrangem toda a parte sul, e outro do tipo poroso ou intergranular, correspondendo aos sedimentos da Bacia do Jatobá que cobrem todo o restante da área.

O aquífero do tipo fissural apresenta um baixo potencial hidrogeológico, além de qualidade físico-química inferior de suas águas, devido à grande quantidade de sais dissolvidos, restringindo seu uso ao consumo animal (CPRM, 2020).

Já o aquífero do tipo intergranular ou poroso assume características locais, que vão desde o tipo livre ao confinado, possuindo um maior potencial de exploração e, em geral, de boa qualidade físico-química, apresentando-se dentro dos padrões de potabilidade (CPRM, 2020).

5.3 Hidrologia

O município de Petrolândia está inserido na Unidade de Planejamento Hídrico UP22, que corresponde ao grupo de bacias de pequenos rios interiores 3 – GI3, está localizado na porção sul do Estado de Pernambuco, entre 08° 39' 38" e 09° 17' 52" de latitude sul, e 37° 59' 21" e 35° 41' 32" de longitude oeste. O GI3 apresenta uma área de 2.284,78 km², totalmente inserida no Estado de Pernambuco e que corresponde a um percentual de 2,32% do total do estado (APAC, 2023).

O grupo GI-3 é composto por uma grande quantidade de pequenos rios e riachos que deságuam no lago formado pelo reservatório de Itaparica, no rio São Francisco. Dentre os riachos que formam o GI3, destacam-se o riacho do Caldeirão, o riacho das Areias, o riacho dos Mandantes, o riacho da Barreira e o riacho da Quixabinha (APAC, 2023).

A Tabela 7 apresenta os dados estatísticos da hidrologia do reservatório Itaparica. As informações apresentadas foram obtidas do Sistema de Acompanhamento de Reservatórios (SAR) da Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico (ANA) no período de monitoramento de 2010 a 2023. Os dados indicam que há pouca variação da cota nos três períodos analisados, no

entanto, observa-se uma maior heterogeneidade dos dados de vazão natural e volume útil (ANA, 2023).

Tabela 7 - Dados da hidrologia do reservatório de Itaparica (2010 a 2023)

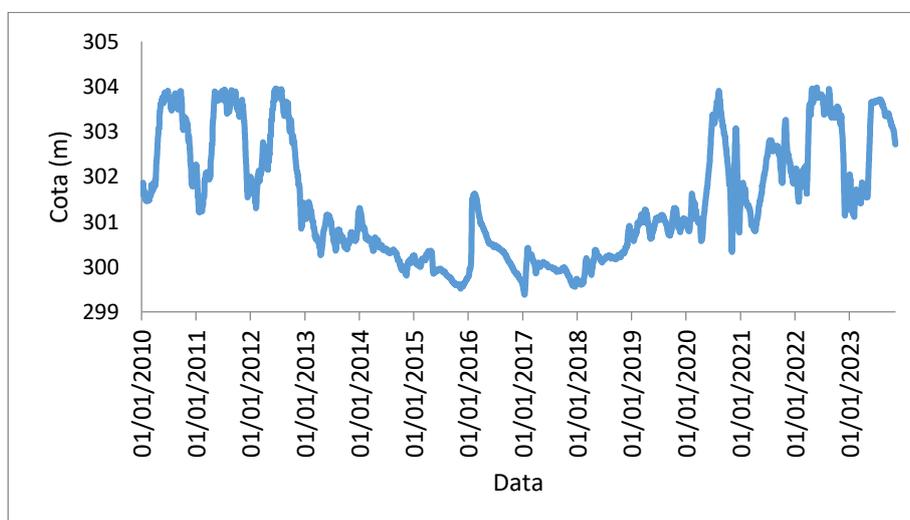
Período analisado	Dados gerais			Seco			Chuvoso		
Parâmetro	Cota (m)	Vazão Natural (m³/s)	Volum e útil (%)	Cota (m)	Vazão Natural (m³/s)	Volum e útil (%)	Cota (m)	Vazão Natural (m³/s)	Volum e útil (%)
Média	301,46	1565,55	46,58	301,79	738,52	53,59	301,13	2392,58	39,58
Mínimo	299,58	218,58	10,08	299,61	218,58	10,71	299,58	269,47	10,08
Máximo	303,88	7610,63	97,15	303,88	2013,68	97,15	303,58	7610,63	90,57
Desvio padrão	1,31	1372,53	26,60	1,55	346,44	31,62	0,92	1511,92	18,02
CV (coeficiente de variação)	0,43	87,67	57,10	0,51	46,91	59,00	0,30	63,19	45,53

Fonte dos Dados: ANA (2024). Fonte: A Autora (2024).

Os dados da cota do reservatório de Itaparica apresentam o comportamento esperado ao longo do ano, variação de acordo com os períodos secos e chuvosos (Figura 13). Entre os anos 2013 e 2019, observa-se uma diminuição dos valores da cota, comportamento esperado em períodos de estiagem da região.

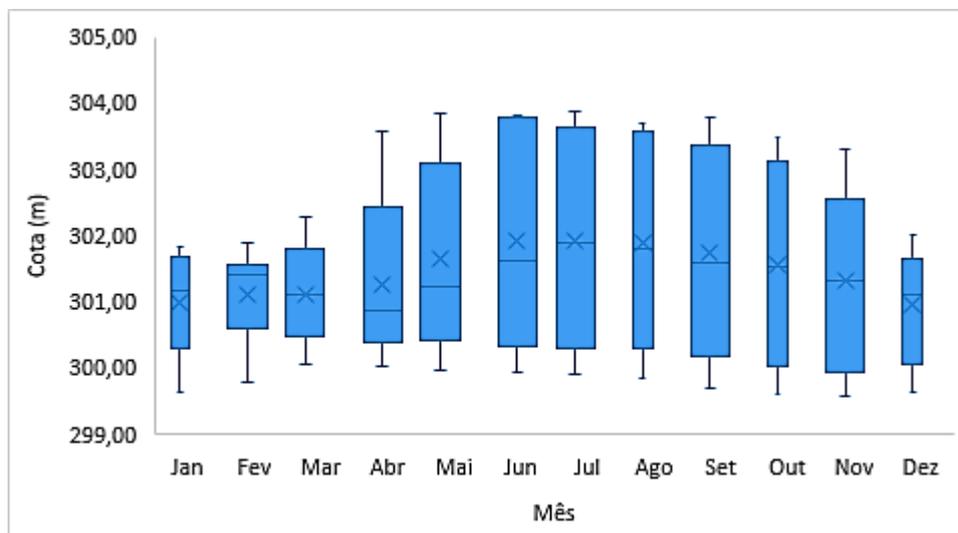
Observando o comportamento das médias mensais (Figura 14), verifica-se uma maior variação da cota entre os meses de junho a novembro, os quais apresentam uma tendência de assimetria negativa.

Figura 13 - Hidrograma da cota do reservatório Itaparica (2010 – 2023)



Fonte dos Dados: ANA (2024). Fonte: A Autora (2024).

Figura 14 - Série histórica de cota mensal no reservatório Itaparica (2010 – 2023)



Fonte dos Dados: ANA (2024). Fonte: A Autora (2024).

Os dados do volume útil do reservatório apresentam os mesmos comportamentos observados na cota, uma vez que ambos são diretamente proporcionais (Figura 15 e Figura 16).

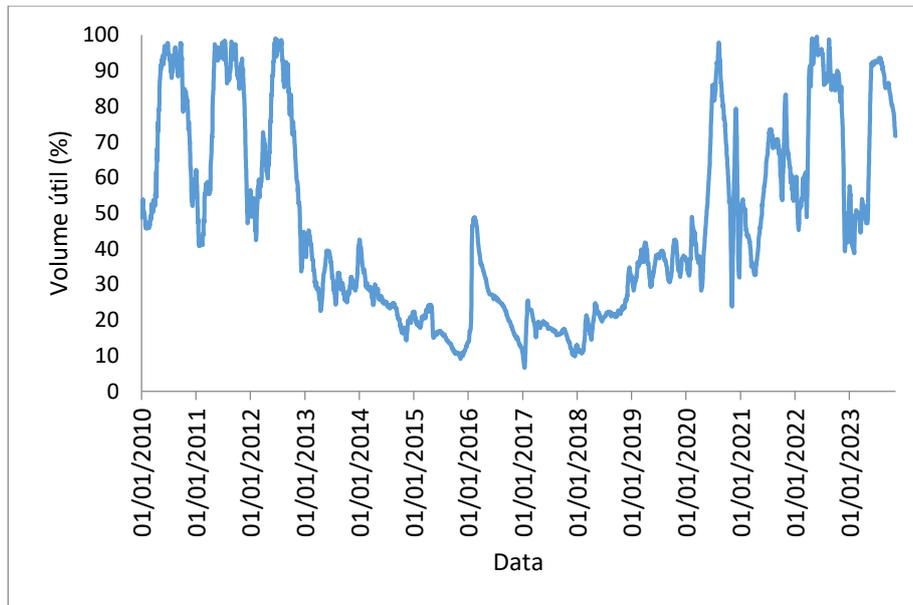
Sousa et al. (2017) avaliaram a hidrologia do reservatório de Itaparica entre os anos de 2006 a 2016 e, nesse período, observou-se que o reservatório apresentou um volume útil elevado, prevalecendo durante os meses de abril a setembro. Já a partir de 2013, o reservatório apresentou uma redução volumétrica considerada. Como citado anteriormente, essa redução volumétrica é resultante do período de estiagem que ocorreu entre os anos de 2013 e 2019 e que pode ser visualizada nas Figuras 13 e 15.

O reservatório de Itaparica possui um poder de armazenamento de 10,7 trilhões de litros, com o volume útil de 3,5 trilhões de litros de água. Com regularização de vazão, o reservatório tem papel fundamental para assegurar o abastecimento para consumo humano e agropecuário, além da produção de energia elétrica (CHESF, 2024).

Hunt et al. (2002) salientam que, para aplicar a técnica de FM, é necessário que o ambiente forneça características hidrogeológicas específicas. Devem ser analisados fatores como sazonalidade do fluxo do rio, estabilidade do canal do rio,

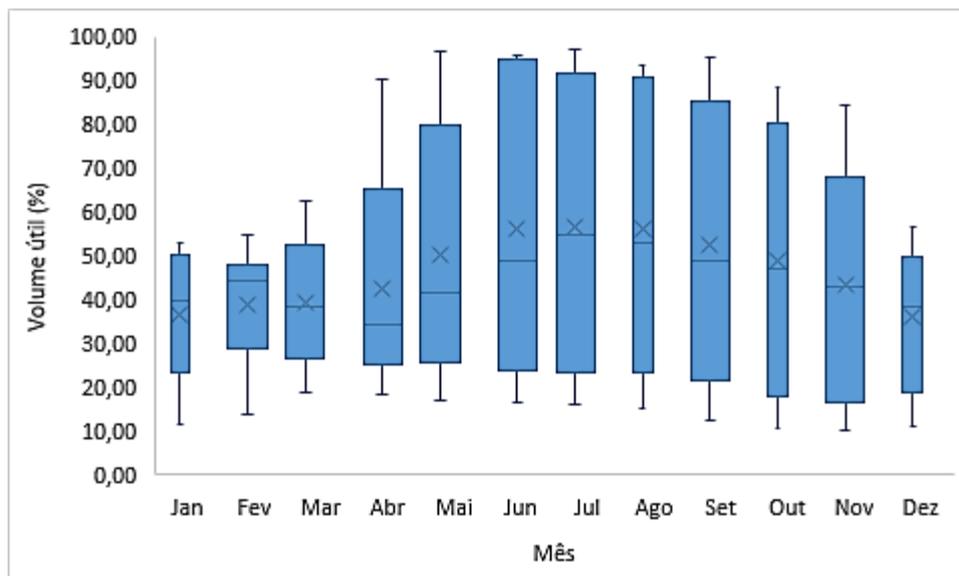
velocidade do fluxo, características das margens e leito do rio, disponibilidade da água do rio que será induzida durante as estações seca e chuvosa, assim como o nível de qualidade da água do rio.

Figura 15 - Hidrograma do volume útil do reservatório Itaparica (2010 – 2023)



Fonte dos Dados: ANA (2024). Fonte: A Autora (2024).

Figura 16 - Série histórica do volume útil no reservatório Itaparica (2010 – 2023)



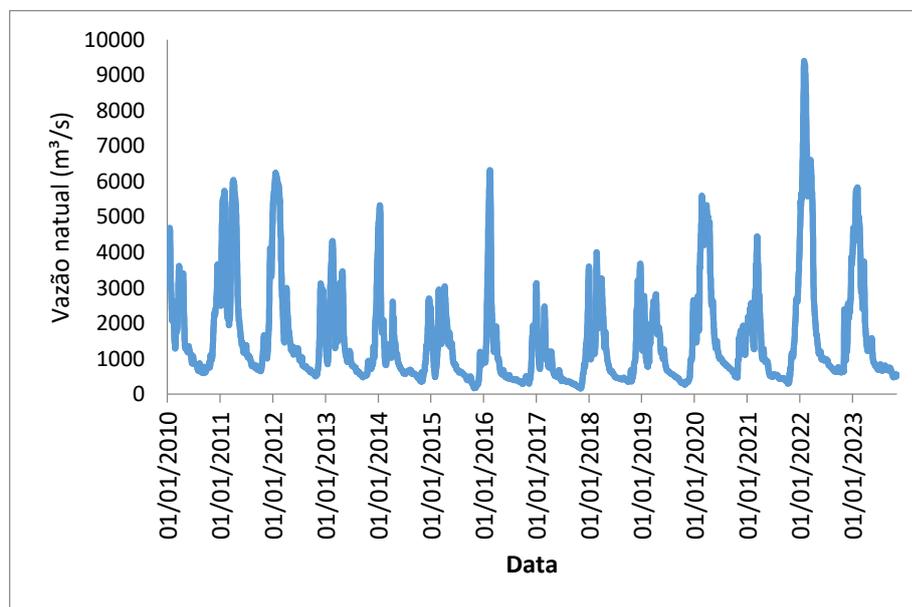
Fonte dos Dados: ANA (2024). Fonte: A Autora (2024).

Sousa et al. (2017) destacam que o volume útil do reservatório de Itaparica sofre influência dos períodos prolongados de seca, altas taxas de evaporação e redução de períodos chuvosos, fatores que podem ser desfavoráveis à FM em determinados períodos.

Na Figura 17 tem-se o hidrograma da vazão natural, observa-se que neste parâmetro não houve diminuição da vazão como observado nos parâmetros anteriores, concluindo assim, que a vazão natural não sofre influência dos períodos secos. Com isso, é possível inferir que o local apresenta a capacidade de manter as velocidades mínimas constantes, o que é ideal para FM.

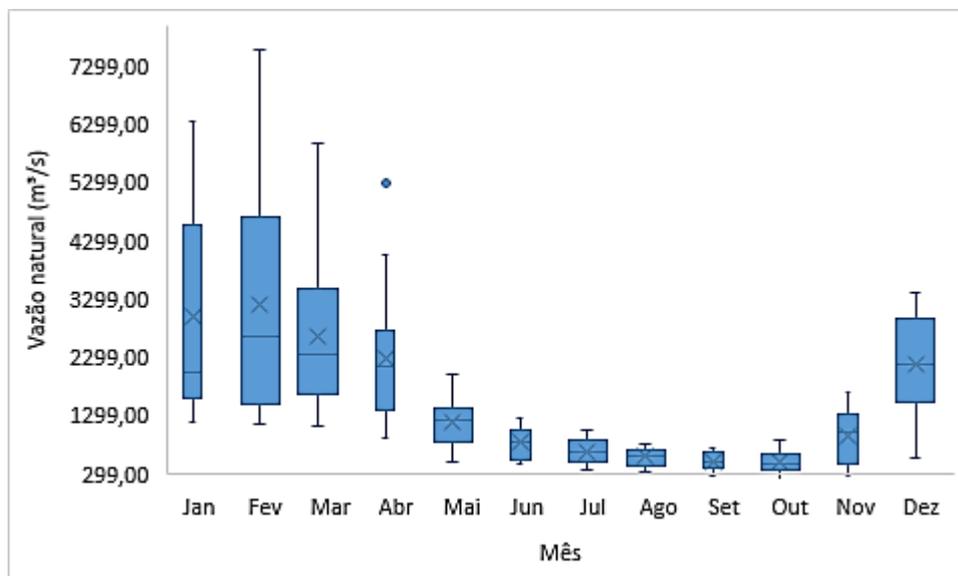
De acordo com a Figura 18, as maiores vazões são observadas de dezembro a abril e, conseqüentemente, apresentam velocidades maiores. Brasil (2018) destaca que a infiltração de água superficial é maior em regiões com granulometria maior encontrados em trechos do rio com alta velocidade.

Figura 17 - Hidrograma da vazão natural do reservatório Itaparica (2010 – 2023)



Fonte dos Dados: ANA (2024). Fonte: A Autora (2024).

Figura 18 - Série histórica da vazão natural no reservatório Itaparica (2010 – 2023)



Fonte dos Dados: ANA (2024). Fonte: A Autora (2024).

5.4 Qualidade das águas superficiais

Os dados do monitoramento da qualidade das águas superficiais foram obtidos da Chesf (2024) entre os anos de 2016 a 2021. No período referido, foram realizadas análises físico-químicas e biológicas. A Tabela 8 apresenta a estatística descritiva para os períodos anuais, seco e chuvoso. De acordo com os dados observados, apesar dos parâmetros apresentarem diferença entre os períodos seco e chuvoso, todos os resultados obtidos estão de acordo com a classificação proposta para o reservatório, a classe 2 de acordo com a resolução nº 357 (CONAMA, 2005).

Tabela 8 - Dados de monitoramento da qualidade de água do reservatório de Itaparica (2016 a 2021)

Período		Anual					Seco					Chuvoso				
Parâmetros	VP	Méd	Mín	Máx	DP	CV	Méd	Mín	Máx	DP	CV	Méd	Mín	Máx	DP	CV
Temperatura (°C)		27,54	23,45	33,70	2,70	9,80	26,56	23,45	33,70	3,07	11,54	28,76	26,85	31,50	1,48	5,16
pH	6 a 9	7,94	6,52	8,42	0,36	4,59	7,84	6,52	8,41	0,40	5,05	8,05	7,45	8,42	0,30	3,67
Condutividade elétrica (µS/cm ²)		80,88	66,90	99,15	8,28	10,23	81,64	68,70	99,15	6,94	8,51	80,09	66,90	97,80	9,58	11,96
Oxigênio dissolvido (mg/L)	> 5	8,41	6,35	16,30	1,74	20,70	8,09	6,35	10,90	0,89	11,04	8,71	6,57	15,00	2,26	25,92
Oxigênio dissolvido (%)		104,47	83,00	171,90	19,48	18,65	98,79	83,00	134,90	10,83	10,96	110,66	85,90	171,90	24,66	22,28
Salinidade		0,04	0,02	0,04	0,01	14,24	0,04	0,02	0,04	0,01	15,68	0,04	0,03	0,04	0,00	12,95
Transparência (m)		6,10	1,75	11,50	2,04	33,44	6,30	2,00	9,30	1,81	28,67	5,90	1,75	11,50	2,29	38,80
Amônia (mg/L)	2	0,12	0,01	1,00	0,20	165,33	0,10	0,01	1,00	0,23	218,51	0,15	0,02	0,60	0,18	123,52
Nitrato (mg/L)	10	0,23	0,00	3,83	0,62	266,50	0,30	0,00	3,83	0,82	276,62	0,15	0,00	0,59	0,17	109,79
N total (mg/L)		7,31	0,31	16,57	4,24	57,96	8,50	1,80	16,57	4,61	54,25	6,18	0,31	12,33	3,60	58,22
Ortofosfato (mg/L)		0,01	0,00	0,04	0,01	66,05	0,01	0,00	0,04	0,01	70,81	0,01	0,00	0,02	0,01	51,54
P total (mg/L)	0,1	0,03	0,01	0,08	0,02	55,92	0,04	0,01	0,08	0,02	55,63	0,03	0,01	0,06	0,01	50,90
COT (mg/L)		20,58	1,90	100,00	28,91	140,47	24,32	2,60	100,00	34,44	141,60	17,24	1,90	94,20	23,37	135,58
Alcalinidade total (mg/L)		36,50	22,80	55,83	9,94	27,23	38,15	22,80	52,50	10,58	27,73	34,93	24,50	55,83	9,27	26,53
Dureza total (mg/L)		32,22	14,00	57,60	7,24	22,47	31,00	14,00	42,54	6,57	21,20	33,27	26,00	57,60	7,76	23,33
Turbidez (NTU)	100	1,21	0,00	4,45	0,90	74,71	1,14	0,00	2,50	0,69	60,39	1,28	0,00	4,45	1,11	86,45
DBO (mg/L O ₂)	5	1,58	0,69	4,00	0,84	53,20	1,75	0,79	4,00	0,95	54,30	1,30	0,69	2,70	0,55	42,47
Clorofila-a (µg/L)	30	2,01	0,00	8,93	2,39	118,90	2,38	0,00	8,93	2,53	106,45	1,65	0,00	7,81	2,25	136,26

Densidade total (cél/mL)	50000	3066,61	3,70	14331,67	3902,55	127,26	3024,67	3,70	13183,00	3468,82	114,68	3110,47	6,50	#####	4393,25	141,24
Clorofíceas (cél/mL)		97,96	0,00	867,92	180,19	183,95	120,03	0,00	867,92	236,41	196,96	73,78	0,00	304,50	84,59	114,65
Clorofíceas (%)		10,71	0,00	60,94	15,68	146,44	9,81	0,00	60,94	16,55	168,71	11,69	0,00	56,52	15,01	128,40
Diatomáceas (cél/mL)		102,99	0,00	803,50	194,96	189,29	140,87	0,00	803,50	238,68	169,43	63,39	0,00	538,00	129,39	204,10
Diatomáceas (%)		11,58	0,00	72,02	17,07	147,39	9,38	0,00	41,25	12,83	136,71	13,88	0,05	72,02	20,67	148,93
Cianobactérias (cél/mL)		2508,05	0,00	13856,00	3715,69	148,15	2492,19	0,00	12432,00	3330,08	133,62	2525,43	0,00	#####	4181,46	165,57
Cianobactérias (%)		60,67	0,00	100,00	33,10	54,55	65,86	0,00	100,00	31,65	48,06	54,99	0,00	94,20	34,47	62,69
Dinoflagelados (cél/mL)		11,60	0,00	271,00	41,45	357,31	3,31	0,00	18,87	5,97	180,30	19,51	0,00	271,00	57,16	292,93
Dinoflagelados (%)		2,80	0,00	33,33	6,79	242,53	0,48	0,00	4,96	1,30	270,64	5,01	0,00	33,33	8,95	178,72

*CONAMA 357/05 (Classe 2). Mín: mínimo; Máx: máximo; Méd: média; DP: desvio padrão; VP: valor permitido; CV: coeficiente de variação.

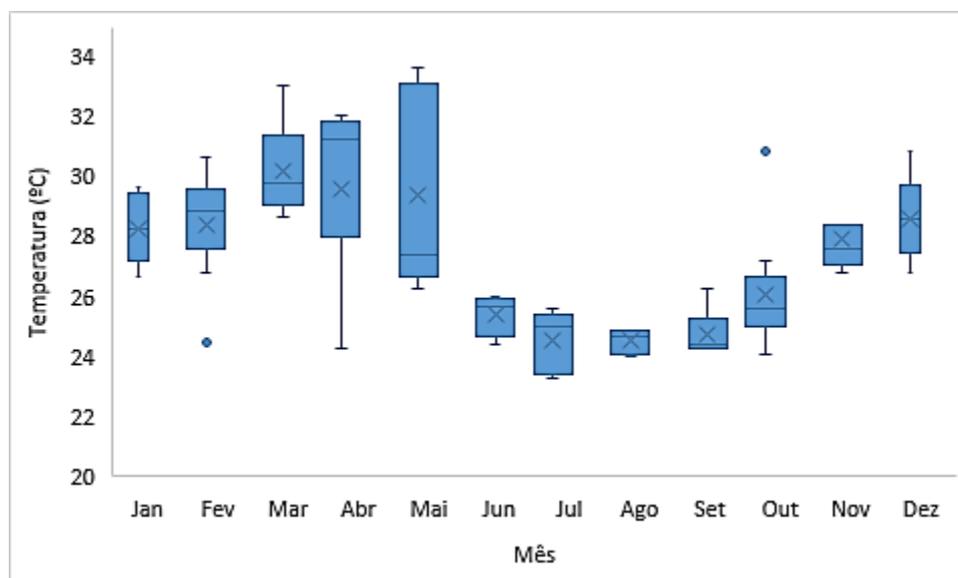
Fonte dos Dados: Chesf (2024). Fonte: A Autora (2024).

Brasil (2018) destaca que a qualidade da água superficial apresenta relação direta com a qualidade da água que será captada pela FM, mesmo considerando todo o potencial de tratabilidade dessa tecnologia, recomendando fazer análise prévia dos parâmetros ferro, manganês, sólidos totais, turbidez, fósforo total, oxigênio dissolvido, salinidade, nitrogênio total, coliformes termotolerantes, demanda bioquímica de oxigênio, pH e temperatura.

De acordo com os dados descritos na Tabela 8 e conforme recomendação de Brasil (2018), fez-se análise dos dados de temperatura, pH, salinidade, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, turbidez, fósforo total e nitrogênio total através de gráficos Box-plot.

A temperatura apresentou variação média entre 23,3°C (julho) e 33,7°C (maio). Nos primeiros meses do período seco, observa-se maior variação de temperatura; já no período chuvoso, observa-se que há uma menor variação de temperatura (Figura 19).

Figura 19 - Variação da temperatura no reservatório Itaparica, em Petrolândia – PE (2016-2021)

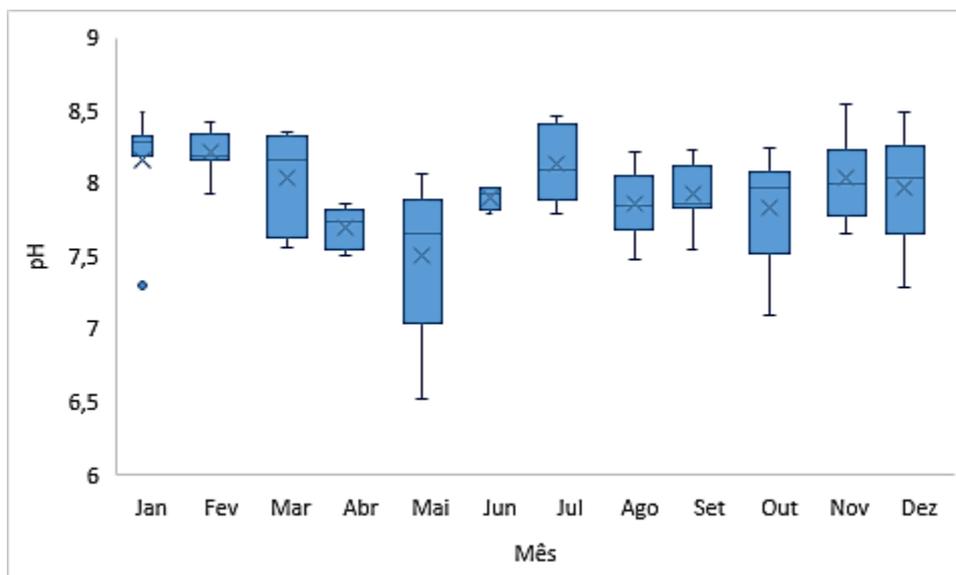


Fonte dos Dados: Chesf (2024). Fonte: A Autora (2024).

Romero-Esquivel et al. (2016) destacam que a temperatura da água superficial afeta a viscosidade da água e, conseqüentemente, influencia a taxa de infiltração. Além disso, a temperatura está relacionada com processos importantes como a biodegradação, adsorção e dissolução de gases no leito do rio e no aquífero.

Os valores de pH (6,52 a 8,55) estão então em conformidade com a resolução 357 (CONAMA, 2005), que estabelece como padrão para rios de classe II, valores entre 6 a 9 (Figura 20).

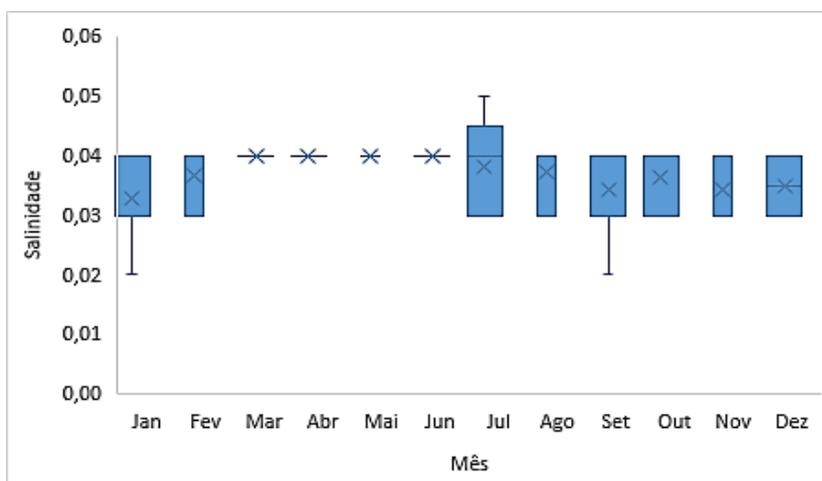
Figura 20 - Variação de pH no reservatório Itaparica, em Petrolândia – PE (2016-2021)



Fonte dos Dados: Chesf (2024). Fonte: A Autora (2024).

A resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece que valores iguais ou inferiores a 0,5 ‰ de salinidade para águas doces, os resultados indicam que o parâmetro está em conformidade com a norma (Figura 21).

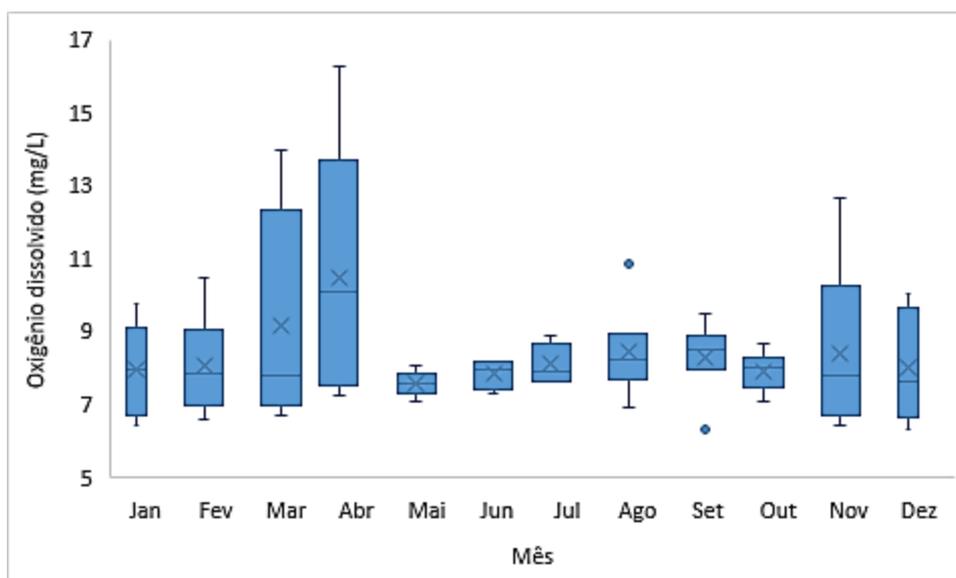
Figura 21 - Variação de salinidade no reservatório Itaparica, em Petrolândia – PE (2016-2021)



Fonte dos Dados: Chesf (2024). Fonte: A Autora (2024).

Os valores de oxigênio dissolvido (6,32 a 16,3 mg/L) estão então em conformidade com a resolução 357 (CONAMA, 2005), que estabelece como padrão para rios de classe II, valor mínimo de 5 mg/L (Figura 22).

Figura 22 - Variação de oxigênio dissolvido no reservatório Itaparica, em Petrolândia – PE (2016-2021)



Fonte dos Dados: Chesf (2024). Fonte: A Autora (2024).

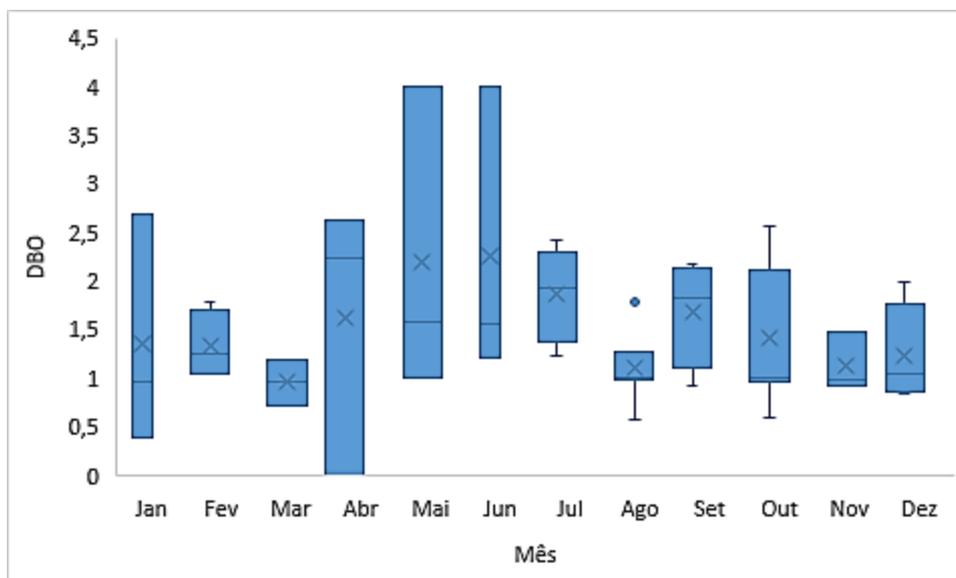
Romero-Esquivel et al. (2016) salientam que a concentração de oxigênio deve ser alta para evitar condições anóxicas no aquífero que ocasionariam a dissolução de ferro, manganês e arsênio e, conseqüentemente, gerar a necessidade de tratamentos posteriores.

Belló (2021) observou que o oxigênio dissolvido apresenta uma tendência de decaimento na água tratada ao longo do tempo de operação do sistema de FM, que está associado principalmente ao consumo de oxigênio pelo metabolismo microbiano devido à oxidação da matéria orgânica carbonácea, quanto com a nitrificação (Von Sperling, 2005).

Em relação à DBO, a resolução 357 (CONAMA, 2005) estabelece como padrão para rios de classe II, valor máximo de 5mg/L, os resultados apresentam variação entre 0,69 a 4,00 mg/L (Figura 23). A DBO é uma medida empírica do oxigênio requerido pelas bactérias para decompor a matéria orgânica e, com isso, apresentam valores inversamente proporcionais ao oxigênio dissolvido. Logo, como o oxigênio

dissolvido apresenta valores altos, a indicação de valores baixos de DBO está de acordo com o esperado.

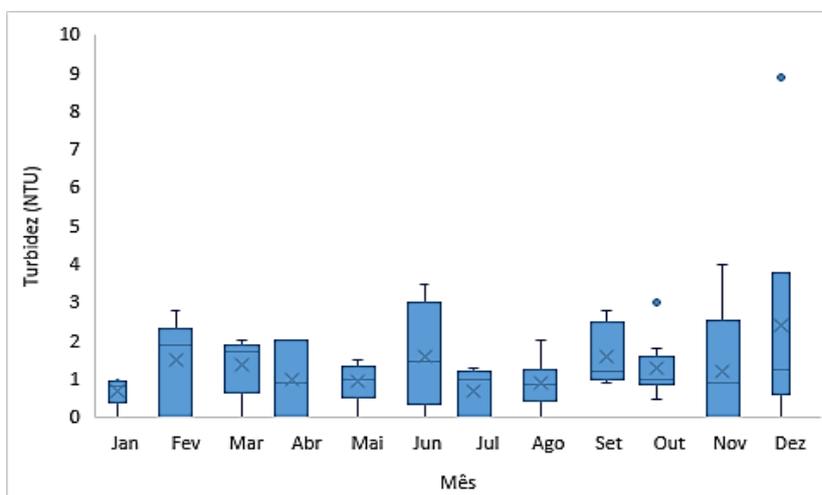
Figura 23 - Variação de DBO no reservatório Itaparica, em Petrolândia – PE (2016-2021)



Fonte dos Dados: Chesf (2024). Fonte: A Autora (2024).

A resolução 357 (CONAMA, 2005) estabelece como padrão para turbidez nos rios de classe II, valor máximo de 100 NTU. A Figura 24 aponta que os dados estão em conformidade com o valor máximo estabelecido pela norma. A turbidez normalmente está relacionada à quantidade de materiais suspensos e pode ser um indicativo da qualidade microbiana da água (Ray et al., 2002).

Figura 24 - Variação de turbidez no reservatório Itaparica, em Petrolândia – PE (2016-2021)



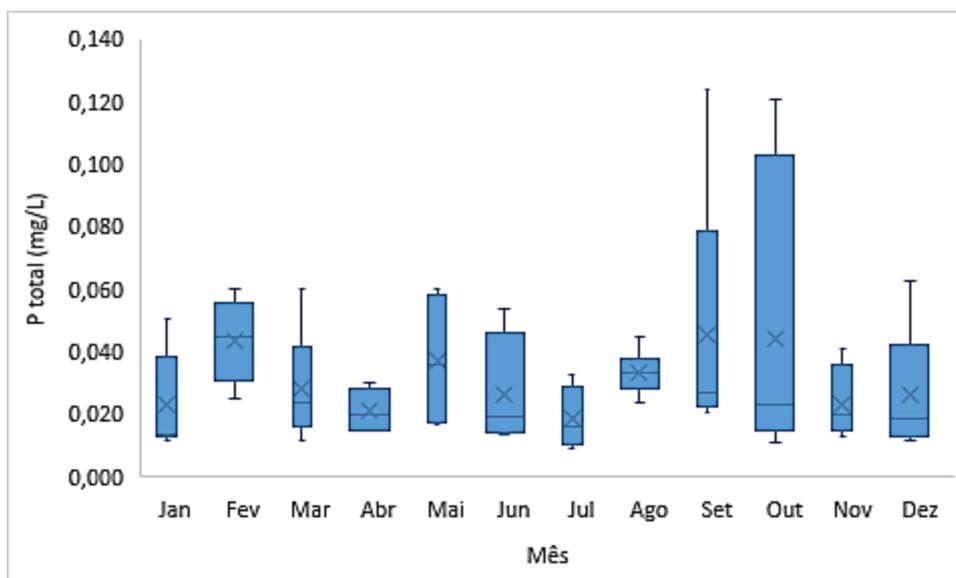
Fonte dos Dados: Chesf (2024). Fonte: A Autora (2024).

Tundisi (2003) destaca que fósforo e nitrogênio, naturalmente, possuem baixas concentrações nos ecossistemas aquáticos. O aumento da concentração destes é fortemente influenciado pela urbanização e o desenvolvimento industrial e agrícola, o que pode acarretar na formação de florações de cianobactérias.

Os valores de fósforo total (0,01 a 0,08 mg/L) (Figura 25) estão em conformidade com a resolução 357 (CONAMA, 2005), que estabelece como padrão para rios de classe II, valor mínimo de 0,10 mg/L.

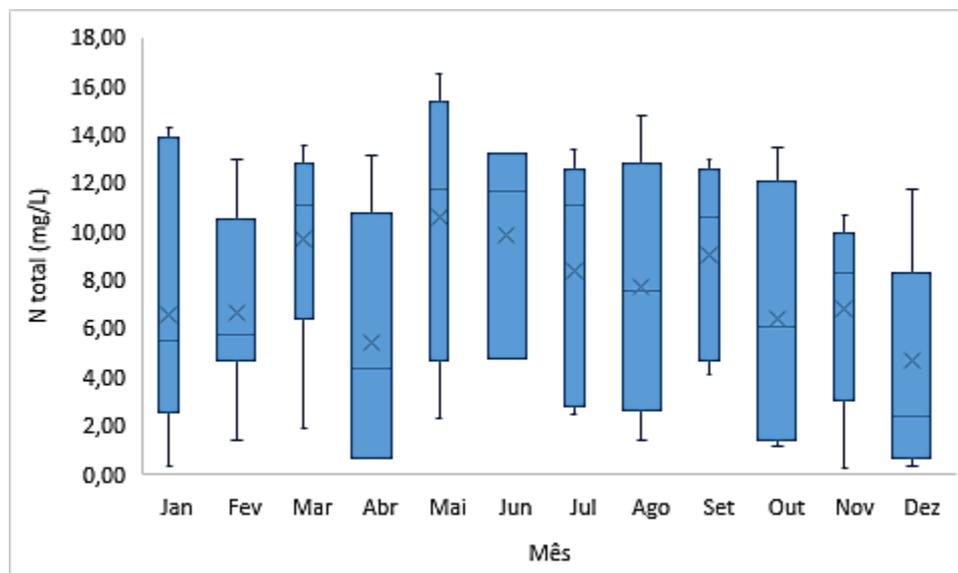
Já os valores de nitrogênio total apresentam uma maior variação em todos os meses, de 0,31 a 16,57 mg/L (Figura 26). Barrows e Kilmer (1963) destacam que as perdas por lixiviação são geralmente limitadas ao enxofre e nitrogênio. Como o nitrogênio é muito móvel no solo, este pode ser carregado pelas águas das chuvas antes de ser utilizado pelas plantas, acarretando certos aumentos dos seus teores nos corpos de água próximos (Jung, 1972).

Figura 25 - Variação de fósforo total no reservatório Itaparica, em Petrolândia – PE (2016-2021)



Fonte dos Dados: Chesf (2024). Fonte: A Autora (2024).

Figura 26 - Variação de nitrogênio total no reservatório Itaparica, em Petrolândia – PE (2016-2021)



Fonte dos Dados: Chesf (2024). Fonte: A Autora (2024).

A qualidade da água do reservatório de Itaparica foi avaliada no estudo de Nascimento (2021) nos municípios do semiárido pernambucano Batateira, Orocó, Santa Maria da Boa Vista e Petrolândia. Os resultados observados indicam que Petrolândia apresenta qualidade da água em condições favoráveis ao uso da técnica da FM com relação a parâmetros físico-químicos (turbidez, cor, pH, condutividade elétrica, temperatura, nitrato, ferro e manganês).

Santos et al. (2011) avaliaram a aplicabilidade da FM em um reservatório eutrofizado no semiárido pernambucano, na cidade de Garanhuns-PE. Os resultados obtidos apontam que houve redução significativa dos parâmetros de turbidez, oxigênio dissolvido e pH, portanto é uma tecnologia promissora para potabilização de água oriunda de reservatórios.

5.5 Análise estatística dos dados hidrogeambientais

A Tabela 9 apresenta os resultados obtidos no teste de Shapiro-Wilk e no teste de Levene. A partir dos resultados obtidos com o teste de Levene, pode-se inferir que todos os dados analisados são homogêneos, ou seja, são dados consistentes, com variabilidade reduzida, o que torna mais fácil a identificação de padrões e tendências.

Já os resultados do teste de Shapiro-Wilk apontam que apenas os parâmetros CE, cota, DBO, dureza, n total, ortofosfato, p total, pluviométrico, temperatura, transparência, turbidez, vazão, volume e pH apresentam distribuição normal, portanto esses parâmetros apresentam dados que seguem um padrão simétrico, com média, mediana e moda iguais.

Tabela 9 - Resultados da aplicação dos testes Shapiro-Wilk e Levene para verificação da distribuição normal e homogeneidade dos parâmetros

Teste Parâmetro	Shapiro-Wilk					Levene		
	statistic	p	Normal	df1	df2	statistic	p	Homogênea
Alcalinidade	0,861	0,016	não	5,000	11,000	2,073	0,146	sim
CE	0,973	0,846	sim	5,000	12,000	1,351	0,309	sim
COT	0,598	0,000	não	5,000	11,000	2,112	0,140	sim
Cianobactérias	0,811	0,002	não	5,000	12,000	1,357	0,307	sim
Clorofila-a	0,804	0,002	não	5,000	12,000	2,176	0,125	sim
Clorofíceas	0,800	0,002	não	5,000	12,000	1,981	0,154	sim
Cota	0,907	0,077	sim	5,000	12,000	2,785	0,068	sim
DBO	0,904	0,130	sim	4,000	9,000	0,976	0,467	sim
DensTotal	0,841	0,006	não	5,000	12,000	1,037	0,440	sim
Diatomáceas	0,879	0,025	não	5,000	12,000	1,373	0,301	sim
Dinoflagelados	0,595	0,000	não	5,000	12,000	3,092	0,051	sim
Dureza	0,930	0,219	sim	5,000	11,000	1,719	0,211	sim
NH3	0,570	0,000	não	5,000	11,000	1,474	0,274	sim
NO2	0,765	0,000	não	5,000	12,000	2,006	0,150	sim
N Total	0,929	0,183	sim	5,000	12,000	1,171	0,378	sim
OD	0,854	0,010	não	5,000	12,000	1,736	0,201	sim
Ortofosfato	0,940	0,317	sim	5,000	11,000	1,973	0,161	sim
P Total	0,928	0,177	sim	5,000	12,000	0,878	0,525	sim
Pluviométrico	0,947	0,375	sim	5,000	12,000	0,640	0,674	sim
Salinidade	0,719	0,000	não	5,000	12,000	2,166	0,127	sim
Temperatura	0,917	0,113	sim	5,000	12,000	0,331	0,885	sim
Transparência	0,943	0,331	sim	5,000	12,000	0,906	0,509	sim
Turbidez	0,959	0,667	sim	4,000	10,000	1,615	0,245	sim
Vazão	0,940	0,288	sim	5,000	12,000	0,396	0,842	sim
Volume	0,902	0,062	sim	5,000	12,000	2,834	0,065	sim
pH	0,948	0,397	sim	5,000	12,000	0,782	0,582	sim

Fonte dos Dados: Chesf (2024). Fonte: A Autora (2024).

Através do teste t de Student, verificou-se quais parâmetros com distribuição normal apresentam diferença significativa entre os períodos secos e chuvosos. Conforme descrito na Tabela 10.

Diante dos resultados, observa-se que o reservatório não apresenta variação de nível, uma vez que não há diferença significativa de volume e cota entre os períodos avaliados. No entanto, pode ocorrer flutuação da velocidade da água devido à variação da vazão nos períodos secos e chuvosos. Brasil (2018) destaca que a FM é mais favorável em locais com velocidade média na faixa de 0,5 a 2,5 m/s e com pouca variação de nível.

As inundações e as secas têm um efeito indireto na eficiência do processo da FM. Enquanto a inundação impede a ocorrência da colmatação devido à erosão, promovendo uma autopurificação do reservatório, o oposto ocorre quando há condições de seca, que leva ao entupimento do leito do rio (Ahmed; Marhaba, 2016).

A colmatação apresenta a capacidade de promover a biodegradação dos compostos, embora apresente como ponto negativo a redução da condutividade hidráulica, conseqüentemente, diminuindo a vazão de água produzida da FM (Hiscock; Grischek, 2002).

Tabela 10 - Aplicação do teste t de student para análise de diferença significativa entres os períodos seco e chuvoso dos parâmetros com distribuição normal

Parâmetros	Grupo 1	Grupo 2	n1	n2	statistic	df	p
CE	Chuvoso	Seco	6	6	0,268	9,649	0,794
Cota	Chuvoso	Seco	6	6	-0,643	7,960	0,538
DBO	Chuvoso	Seco	4	5	-0,870	6,207	0,416
Dureza	Chuvoso	Seco	6	5	0,936	5,273	0,390
NTotal	Chuvoso	Seco	6	6	-1,260	7,019	0,248
Ortof	Chuvoso	Seco	6	5	-0,507	6,865	0,628
PTotal	Chuvoso	Seco	6	6	-0,706	8,699	0,499
Pluviométrico	Chuvoso	Seco	6	6	3,531	7,141	0,009
Temperatura	Chuvoso	Seco	6	6	1,643	6,465	0,148
Transparencia	Chuvoso	Seco	6	6	0,118	8,426	0,908
Turb	Chuvoso	Seco	5	5	1,095	7,319	0,308
Vazao	Chuvoso	Seco	6	6	5,236	6,363	0,002
Volume	Chuvoso	Seco	6	6	-0,664	7,781	0,526
pH	Chuvoso	Seco	6	6	1,966	7,494	0,087

Fonte dos Dados: Chesf (2024). Fonte: A Autora (2024).

A fim de verificar se há diferença significativa entre os anos analisados, aplicou-se a análise de variância, através dela constatou-se diferença significativa nos parâmetros cota, volume e CE (Tabela 11).

Objetivando identificar os anos que apresentam diferença significativa entre os dados, aplicou-se o teste Posthoc-Tukey (Tabela 12). Para os parâmetros cota e volume, a diferença está entre os anos 2020-2017 e 2021-2017. Como citado na discussão dos dados de hidrologia, houve um período de estiagem que afetou consideravelmente o reservatório de Itaparica entre os anos de 2013 a 2019, alcançando os menores valores em 2017.

Já em relação à CE, observou-se diferença significativa entre os anos 2020-2017, 2021-2017, 2020-2018 e 2021-2018. A condutividade elétrica é um indicativo de sais dissolvidos na água e pode indicar uma medida indireta da concentração de poluentes (Brasil, 2006).

Comparando os valores de CE com os parâmetros cota e volume, observa-se que são diretamente proporcionais. Os menores valores de CE são observados nos anos 2017 e 2018, com valor mínimo em 2018, já os maiores são nos anos de 2020 e 2021, máximo observado em 2020.

Tabela 11 - Aplicação da análise de variância para verificação da diferença significativa entres os anos analisados para os parâmetros com distribuição normal

Parâmetros	term	df	sumsq	meansq	statistic	p.value
Pluviométrico	Ano	5	744,491	148,898	0,175	0,962
Pluviométrico	Residuals	6	5102,977	850,496		
Cota	Ano	5	7,934	1,587	7,305	0,016
Cota	Residuals	6	1,303	0,217		
Vazao	Ano	5	1565851,070	313170,214	0,302	0,895
Vazao	Residuals	6	6212191,154	1035365,192		
Volume	Ano	5	3057,216	611,443	6,658	0,019
Volume	Residuals	6	551,029	91,838		
Temperatura	Ano	5	32,952	6,590	1,254	0,390
Temperatura	Residuals	6	31,544	5,257		
pH	Ano	5	0,504	0,101	2,086	0,198
pH	Residuals	6	0,290	0,048		
CE	Ano	5	606,554	121,311	14,415	0,003
CE	Residuals	6	50,493	8,416		
Transparencia	Ano	5	18,131	3,626	3,106	0,100
Transparencia	Residuals	6	7,005	1,167		
NTotal	Ano	5	77,314	15,463	1,089	0,452
NTotal	Residuals	6	85,233	14,205		
Ortof	Ano	5	0,000	0,000	2,764	0,144
Ortof	Residuals	5	0,000	0,000		
PTotal	Ano	5	0,001	0,000	2,401	0,158
PTotal	Residuals	6	0,001	0,000		

Dureza	Ano	5	137,654	27,531	2,162	0,209
Dureza	Residuals	5	63,673	12,735		
Turb	Ano	4	1,957	0,489	2,029	0,229
Turb	Residuals	5	1,205	0,241		
DBO	Ano	4	1,297	0,324	2,353	0,214
DBO	Residuals	4	0,551	0,138		

Fonte dos Dados: Chesf (2024). Fonte: A Autora (2024).

Tabela 12 - Aplicação do teste Posthoc-Tukey para identificação dos anos que apresentam diferença significativa para os parâmetros com distribuição normal

Parâmetros	term	contrast	null.value	estimate	conf.low	conf.high	adj.p.value
Cota	Ano	2017-2016	0	-0,518	-2,373	1,337	0,861
Cota	Ano	2018-2016	0	-0,298	-2,152	1,557	0,983
Cota	Ano	2019-2016	0	0,500	-1,354	2,355	0,876
Cota	Ano	2020-2016	0	1,514	-0,341	3,369	0,111
Cota	Ano	2021-2016	0	1,515	-0,340	3,369	0,111
Cota	Ano	2018-2017	0	0,220	-1,635	2,075	0,996
Cota	Ano	2019-2017	0	1,018	-0,836	2,873	0,359
Cota	Ano	2020-2017	0	2,032	0,177	3,887	0,034
Cota	Ano	2021-2017	0	2,033	0,178	3,887	0,034
Cota	Ano	2019-2018	0	0,798	-1,057	2,653	0,569
Cota	Ano	2020-2018	0	1,812	-0,043	3,667	0,055
Cota	Ano	2021-2018	0	1,812	-0,043	3,667	0,055
Cota	Ano	2020-2019	0	1,014	-0,841	2,869	0,363
Cota	Ano	2021-2019	0	1,014	-0,841	2,869	0,363
Cota	Ano	2021-2020	0	0,000	-1,854	1,855	1,000
Volume	Ano	2017-2016	0	-9,717	-47,857	28,423	0,898
Volume	Ano	2018-2016	0	-5,659	-43,799	32,481	0,988
Volume	Ano	2019-2016	0	9,399	-28,741	47,538	0,909
Volume	Ano	2020-2016	0	30,174	-7,965	68,314	0,124
Volume	Ano	2021-2016	0	29,830	-8,310	67,969	0,129
Volume	Ano	2018-2017	0	4,058	-34,082	42,198	0,997
Volume	Ano	2019-2017	0	19,116	-19,024	57,256	0,437
Volume	Ano	2020-2017	0	39,892	1,752	78,031	0,041
Volume	Ano	2021-2017	0	39,547	1,407	77,687	0,043
Volume	Ano	2019-2018	0	15,058	-23,082	53,197	0,641
Volume	Ano	2020-2018	0	35,833	-2,306	73,973	0,065
Volume	Ano	2021-2018	0	35,489	-2,651	73,628	0,067
Volume	Ano	2020-2019	0	20,776	-17,364	58,915	0,366
Volume	Ano	2021-2019	0	20,431	-17,709	58,571	0,380
Volume	Ano	2021-2020	0	-0,345	-38,484	37,795	1,000
CE	Ano	2017-2016	0	-5,090	-16,635	6,456	0,548
CE	Ano	2018-2016	0	-11,492	-23,037	0,054	0,051
CE	Ano	2019-2016	0	-0,063	-11,608	11,483	1,000
CE	Ano	2020-2016	0	10,031	-1,514	21,577	0,088

CE	Ano	2021-2016	0	6,685	-4,861	18,230	0,317
CE	Ano	2018-2017	0	-6,402	-17,947	5,143	0,351
CE	Ano	2019-2017	0	5,027	-6,518	16,572	0,559
CE	Ano	2020-2017	0	15,121	3,575	26,666	0,015
CE	Ano	2021-2017	0	11,774	0,229	23,320	0,046
CE	Ano	2019-2018	0	11,429	-0,116	22,975	0,052
CE	Ano	2020-2018	0	21,523	9,978	33,068	0,002
CE	Ano	2021-2018	0	18,176	6,631	29,722	0,006
CE	Ano	2020-2019	0	10,094	-1,452	21,639	0,086
CE	Ano	2021-2019	0	6,747	-4,798	18,293	0,310
CE	Ano	2021-2020	0	-3,347	-14,892	8,199	0,844

Fonte dos Dados: Chesf (2024). Fonte: A Autora (2024).

Para os parâmetros que não apresentaram distribuição normal, aplicou-se o teste Mann-Whitney para verificação se há diferença significativa entre os períodos secos e chuvosos. Os resultados obtidos apontam que só há diferença para o parâmetro diatomáceas (Tabela 13).

E para verificação da diferença significativa entre os anos de 2016 a 2021, aplicou-se o teste Kruskal-Wallis, os resultados dos mesmos apontam que não há diferença significativa para os dados analisados.

As diatomáceas têm sido amplamente utilizadas para avaliar a qualidade da água em rios, considerando-se a sensibilidade dessas algas a parâmetros físicos e químicos da água, especialmente pH, condutividade, concentração de nutrientes, matéria orgânica e oxigênio (Eloranta; Soininen, 2002; Blanco; Ector; Bécares, 2004).

Tal variação das diatomáceas pode ser resultante da variação da vazão do reservatório, uma vez que, com o aumento das recargas, pode ocorrer o aumento dos poluentes e, conseqüentemente, dos nutrientes e matéria orgânica.

Tabela 13 - Aplicação do teste Mann-Whitney e Kruskal-Wallis para verificação das diferenças significativas para os parâmetros que não apresentam distribuição normal

Teste	Mann-Whitney		Kruskal-wallis		
	Parâmetros	statistic	p.value	statistic	p.value
Alcalinidade	16	0,931	9,773	0,082	5
COT	17	0,792	8,364	0,137	5
Cianobacterias	20	0,818	9,385	0,095	5
Clorof	15	0,678	10,256	0,068	5
Clorofíceas	16	0,818	7,308	0,199	5
DensTotal	19	0,937	9,231	0,100	5
Diatomaceas	4	0,026	4,308	0,506	5

Dinoflagelados	25	0,297	7,816	0,167	5
NH3	16	0,931	8,545	0,129	5
NO2	17	0,937	9,462	0,092	5
OD	16	0,818	9,308	0,097	5
Salinidade	16	0,788	10,015	0,075	5

Fonte dos Dados: Chesf (2024). Fonte: A Autora (2024).

Por fim, fez-se a análise da correção entre os parâmetros para identificar quais os parâmetros impactam nos valores de outras variáveis, os resultados obtidos estão expostos na Figura 27.

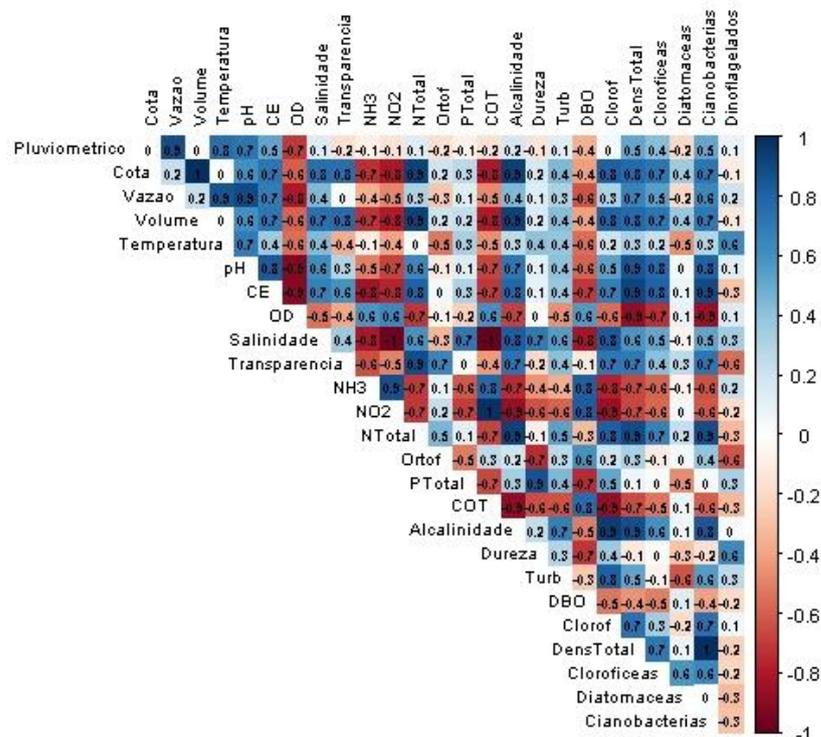
O parâmetro pluviométrico apresenta correlação positiva forte ($\geq 0,70$) com os parâmetros vazão, temperatura e pH.

A cota apresenta correlação igual a 1,00 com o volume e 0,90 com os parâmetros N total e alcalinidade. Esses parâmetros podem ser indicativos de contaminação. Essa correlação pode indicar que possíveis poluentes podem estar sendo carregados para o reservatório no período de chuva.

A vazão, assim como o pluviométrico, apresenta forte correlação com temperatura e pH, destaca-se também correlação com CE e densidade total ($\geq 0,70$).

O volume apresenta correlações semelhantes à cota, uma vez que estes estão diretamente relacionados.

Figura 27 - Análise da correlação dos parâmetros hidrogeoambientais e de qualidade da água do reservatório Itaparica, em Petrolândia – PE



Fonte dos Dados: Chesf (2024). Fonte: A Autora (2024).

Observando os parâmetros da hidrologia de forma ampla, observa-se que a cota e volume apresentam forte correlação com clorofila-a, densidade total, clorofíceas e cianobactérias. Enquanto a vazão apresenta correlação alta com a densidade total.

Lopes et al. (2015) analisaram o comportamento espacial da clorofila-a no reservatório de Itaparica. Neste estudo, foram observados valores entre $0,003 \mu\text{g.L}^{-1}$ e $249,5 \mu\text{g.L}^{-1}$ de clorofila-a. Os autores destacaram que os valores altos da concentração de clorofila-a podem estar associados com a alta turbidez da água devido à ocorrência de precipitação intensa. Há indicativo também de que a agricultura irrigada observada nas margens dos riachos e próximos ao reservatório pode estar contribuindo para os altos valores. Tal estudo pode explicar a correlação dos parâmetros biológicos com os parâmetros da hidrologia.

O parâmetro OD apresenta correlação negativa com 72% dos parâmetros analisados, vale destacar os parâmetros que apresentem correlação forte ($\geq -0,70$) com os parâmetros pluviométrico, vazão, pH, CE, N total, alcalinidade, densidade total, clorofíceas e cianobactérias. Observa-se que tais parâmetros estão ligados à

quantidade de água disponível no reservatório e à poluição do mesmo, podendo afirmar que as duas situações afetam consideravelmente o oxigênio dissolvido no reservatório.

Comportamento semelhante ao OD é observado no parâmetro DBO, o qual está diretamente relacionado com o oxigênio dissolvido na água, salientando que esses parâmetros são inversamente proporcionais. A DBO apresenta correlação negativa com aproximadamente 71% dos parâmetros e destaca-se a correlação positiva forte com os parâmetros NH_3 , NO_2 e COT, parâmetros que indicam presença de contaminações no reservatório.

Em relação aos parâmetros da série nitrogenada, NH_3 e NO_2 apresentam correlação negativa com 75% e 79,17% dos parâmetros analisados, respectivamente. Apesar desses parâmetros serem indicativos de contaminações, os resultados observados estão em conformidade com a classificação da CONAMA para a classe 2.

Assim como os parâmetros da série nitrogenada, o COT apresenta correlação negativa com 79,17% dos parâmetros e apresenta similaridade com os resultados observados na DBO, apresentando correlação positiva forte com NH_3 e NO_2 .

5.6 Caracterização da zona hiporreica

5.6.1 Granulometria

Através da análise granulométrica, é possível fazer a caracterização física do solo da ZH do reservatório Itaparica nas margens do município de Petrolândia – PE. A Tabela 14 apresenta a distribuição granulométrica no ponto analisado e para os dois períodos de coleta.

A Tabela 14 destaca que ocorre uma diminuição dos materiais finos nas camadas inferiores, havendo a predominância de materiais mais grossos (cascalho e areia) (Figura 28).

Tabela 14 - Análise granulométrica da ZH no reservatório Itaparica, em Petrolândia – PE

Período	Amostra	Cascalho (%)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)
Chuvoso	0-5 A	4,309	79,637	5,347	10,708
	5-10 A	6,925	80,162	3,173	9,740
Seco	0-5 S	3,083	86,202	1,345	9,369
	5-10 S	6,433	85,449	0,088	8,030

Fonte: A Autora (2024).

Figura 28 - Material coletado para a análise granulométrica do reservatório Itaparica, em Petrolândia – PE



Fonte: A Autora (2024).

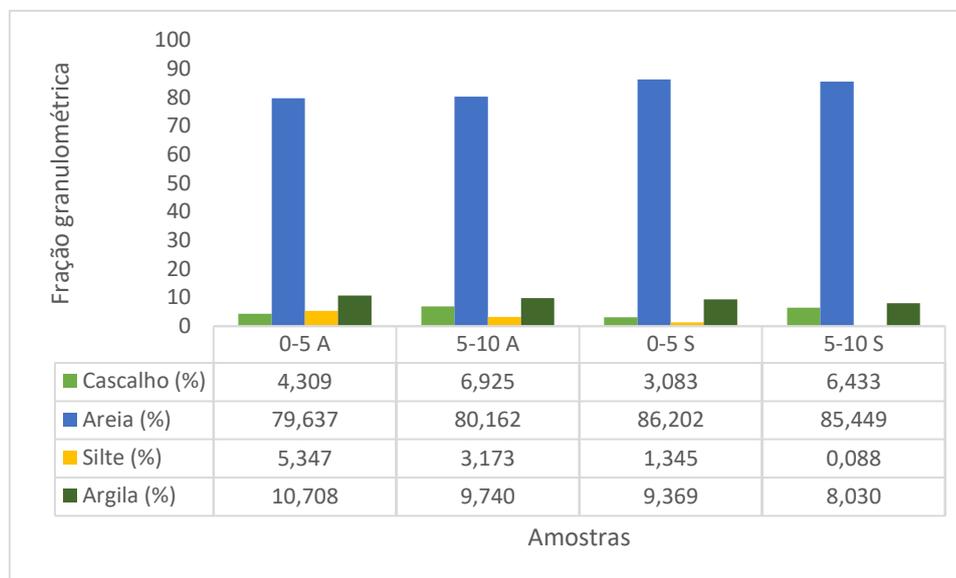
Através da classificação do solo da ZH, como mostra na tabela anterior, bem como o comportamento das frações granulométricas nos dois períodos (Figura 29), é possível observar a predominância quase total de areia em todas as amostras. A divergência temporal mostra que houve um aumento da porcentagem de cascalho.

Freitas (2018) observou em seu estudo no rio Beberibe o aumento da argila no período chuvoso, podendo ser resultado do assentamento das lamas (silte+argila) pós-chuvas. Comportamento semelhante pode ter ocorrido no reservatório de Itaparica, uma vez que ocorreu o aumento de silte e argila no período chuvoso.

Silva (2023) analisou a granulometria do solo às margens do rio São Francisco nas cidades de Santa Maria da Boa Vista e Orocó. Na cidade de Santa Maria da Boa Vista, verificou-se que o solo à margem do rio é composto basicamente por sedimentos finos bem compactados, o que dificultaria o fluxo de água até um poço de produção. Já na cidade de Orocó, observou-se a predominância quase total de areia,

no entanto, apresentou diâmetros médios maiores com um bom teor de cascalho, o que pode impactar no funcionamento do sistema de FM nesta localidade.

Figura 29 - Frações granulométricas da ZH no reservatório Itaparica, em Petrolândia - PE



Fonte: A Autora (2024).

Freitas (2018), em seu estudo no leito do Rio Beberibe, verificou a predominância de areia em todos os pontos analisados. O autor destaca também que houve uma diminuição gradativa do diâmetro médio das partículas, isto provavelmente ocorreu devido ao transporte de sedimentos como resultado da dinâmica do rio.

Já Albuquerque (2015), em seu estudo realizado nos mesmos pontos, verificou que não ocorria variação granulométrica tão acentuada dos solos nos sedimentos arenosos que representam a área de estudo do rio Beberibe. Logo, faz-se necessário um aprofundamento da avaliação granulométrica para validação dos perfis obtidos e suas mudanças nos períodos secos e chuvosos.

Brasil (2018) recomenda que o local de implantação apresente areia no fundo (preferencialmente média ou fina), ou seixo rolado, pois sofrem erosão mais facilmente, favorecendo também a autolimpeza das margens e infiltração da água.

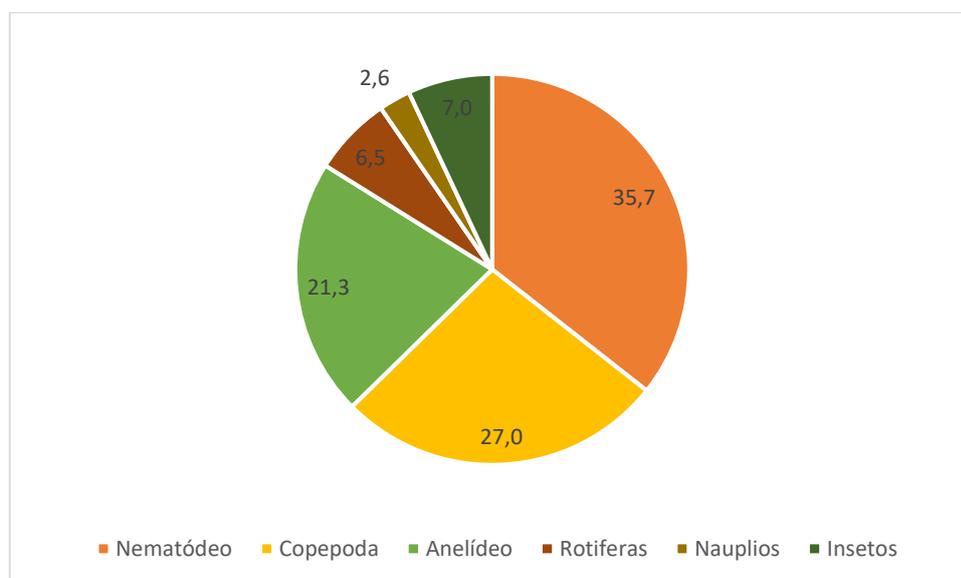
Rabelo (2006), em seu estudo na Lagoa do Peri, verificou que o sedimento avaliado é composto, em sua maioria, por areia de granulometria fina a média, apresentando característica ideal para a implantação de poços de FM, pois apresenta uma excelente porosidade e permeabilidade, conforme salientado por Brasil (2018).

Os perfis geológicos da região, em conjunto com as análises granulométricas do solo/subsolo, confirmaram as características adequadas do local para implantação de um sistema de tratamento de água por FM.

5.6.2 Meiofuna

A caracterização biológica da ZH foi dada através de uma análise da meiofauna presente nos sedimentos hiporreicos no ponto de estudo e nas duas coletas, abril/2023 e setembro/2023. Ao todo, foram contabilizados 230 indivíduos nesta pesquisa. Na Figura 30, tem-se a proporção dos táxons principais em relação ao total de indivíduos coletados.

Figura 30 - Percentual de abundância dos táxons mais representativos em relação ao total de indivíduos



Fonte: A Autora (2024).

Conforme observado na figura acima, dentre os grupos dominantes, Nematódeo, Copepoda e Anelídeo foram os táxons que tiveram maiores destaques com 35,7, 27 e 21,3% respectivamente do total de indivíduos encontrados.

No estudo de Vasconcelos, Santos & Trindade (2004) no estuário do Rio Formoso - PE, verificou-se que os Nematódeos apresentaram uma forte correlação com sedimentos que apresentaram porcentagens elevadas de silte/argila e também com matéria orgânica. Divergindo assim com os resultados obtidos que apresentam

predominância de areia nos perfis granulométricos (Tabela 14) e valores baixos de DBO (Tabela 8).

No estudo desenvolvido por Silva (2023), foram identificados 472 indivíduos e, dentre esses, verificou-se que a taxa Nematódeo foi a com maior representatividade, com 276 indivíduos, seguida dos grupos Anelídeo e Copepoda.

Freitas (2018), em seu estudo, identificou 4906 indivíduos, dentro dos quais apresentou abundância dos grupos taxonômicos Anelídeo e Nematódeo, seguidos de longe pelos Rotíferas. Verifica-se que os grupos dominantes são similares aos resultados obtidos.

Resultado divergente foi observado por Albuquerque (2015), no qual os Rotíferas apresentaram uma participação na abundância muito superior em ecossistemas de água doce.

Na Tabela 15 são apresentados os dados da abundância total dos meiobentos analisados. Nela, pode-se observar a quantidade e variabilidade de cada grupo taxonômico por período estudado.

Tabela 15 - Abundância total da meiofauna analisada

Taxas	Chuvoso	Seco	Total
Nematódeo	39,0	43,0	82,0
Copepoda	44,0	18,0	62,0
Anelídeo	18,0	31,0	49,0
Rotíferas	12,0	3,0	15,0
Nauplios	4,0	2,0	6,0
Insetos	9,0	7,0	16,0
Total	126,0	104,0	230,0

Fonte: A Autora (2024).

De acordo com os dados expostos na tabela acima, podemos identificar que o período chuvoso apresenta maior abundância, apresentando 54,80% do total de indivíduos, já no período seco há 45,20% de indivíduos.

Resultados semelhantes foram observados em um estudo realizado por Carvalho Filho (2019) no rio Ipojuca, no semiárido de Pernambuco, no qual o chuvoso apresentou abundância de 77% do total de indivíduos analisados, seguido pelo período de transição e verão com 13 e 10%, respectivamente. Em outro estudo realizado por Castro (2003), na bacia do Pina, também no estado de Pernambuco, apontou-se o período chuvoso com maiores densidades meiofaunísticas.

No entanto, Sampaio (2012) destaca que normalmente existe uma presença maior de organismos bentônicos no verão devido às condições favoráveis. O autor aponta que a transparência da água pode ser um fator levado em consideração, pois no inverno é possível encontrar um maior movimento de correntezas dispersando alguns sedimentos e diminuindo a transparência da água. Embora, quando comparados os valores de transparência da água entre os períodos secos e chuvosos, verifique-se que a diferença não é significativa (Tabela 8).

Na Figura 31 a seguir, ilustra-se a densidade média e o respectivo desvio padrão das amostragens (amostra, réplica e tréplica) de meiofauna de acordo com a profundidade. A meiofauna estava mais presente na camada mais próxima da superfície de 0 a 5 cm nos dois períodos analisados.

Figura 31 - Densidade média e desvio padrão das amostras de meiofauna na ZH no reservatório de Itaparica, Petrolândia



Fonte: A Autora (2024).

A aglomeração de sedimento ao longo do gradiente de profundidade provoca uma redução tanto no tamanho dos poros dos sedimentos quanto na concentração de oxigênio, o que pode ser um fator limitante para o metabolismo desses seres. Esse fator pode ser determinante para a diminuição na densidade de meiofauna na camada mais profunda da ZH no reservatório (Maridet; Philippe, 1995; Strayer et al., 1997).

Pesquisas têm comprovado que as camadas mais superficiais são geralmente as mais abundantes em meiobentos por serem as mais ricas em oxigênio e matéria

orgânica (Dalto; Albuquerque, 2000; Kotwick et al., 2005; Giere, 2009; Huang et al., 2014).

5.6.3 Microfitobentos

Os dados obtidos da quantidade de biomassa dos microfitobentos obtidos na presente pesquisa estão expostos na Tabela 16. Na Tabela 16, observa-se que no período do inverno os dados de feopigmentos são superiores aos de clorofila-a. Já no período seco, os valores de clorofila-a são maiores que os de feopigmentos.

Tabela 16 - Concentrações médias obtidas de clorofila-a e feopigmentos da zona hiporreica do reservatório de Itaparica

Parâmetro	Chuvoso	Seco
Clorofila-a ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	7,81	2,48
Feopigmentos ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	14,19	0,98
Razão Cl-a/Feo	0,55	2,55

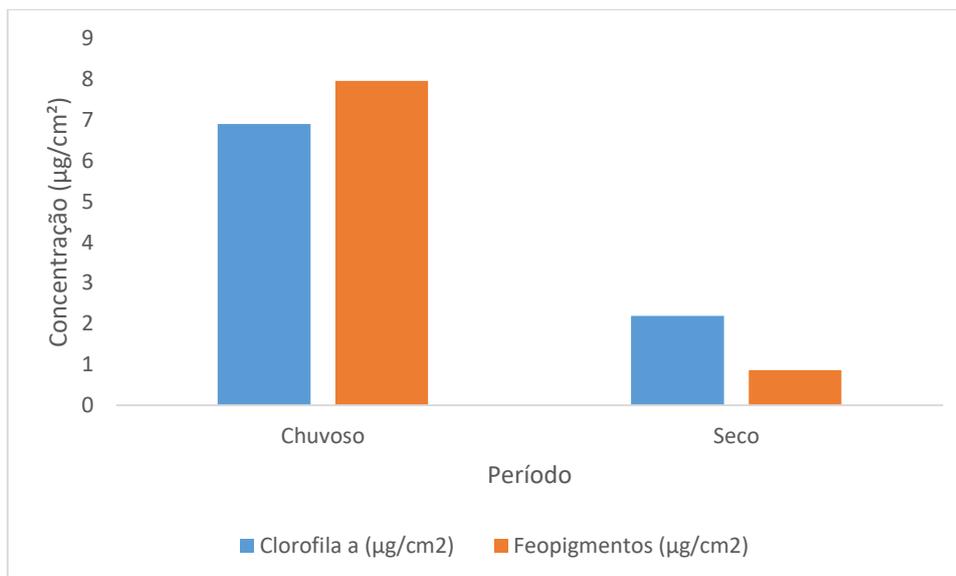
Fonte: A Autora (2024).

O valor elevado de feopigmentos pode ser resultado do consumo da meiofauna e pode indicar resultado de processos de deposição de detritos vegetais de microalgas fitoplâncton da água (Hawkins et al., 1986; Benites, 2014).

Verifica-se também que as razões entre clorofila-a e feopigmentos foram baixas, e no período chuvoso ficou abaixo de um. O que pode ter ocorrido é que a taxa de consumo dos microfitobentos pela meiofauna foi maior do que sua produção primária nesse período. Carvalho Filho (2019), em um estudo realizado no rio Ipojuca no município de Caruaru-PE, e Netto et al. (2007), em um estudo realizado na praia comprida em Santa Catarina, observaram resultados bastante idênticos.

A Figura 32 apresenta as concentrações médias de clorofila-a e feopigmentos nos dois períodos analisados. Nota-se que as concentrações médias de clorofila-a e feopigmentos no período chuvoso foram consideravelmente maiores ($6,91 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ e $7,97 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) do que no período seco ($2,20 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ e $0,86 \mu\text{g}/\text{cm}^2$), respectivamente.

Figura 32 - Concentrações de clorofila-a e feopigmentos do reservatório de Itaparica



Fonte: A Autora (2024).

As pesquisas a respeito de microfítobentos são mais abundantes em ambientes estuarinos e escassas em ambientes fluviais. Em estuários, as concentrações de clorofila-a são consideravelmente mais elevadas do que as concentrações que foram obtidas no reservatório de Itaparica (Netto et al., 2007; Trindade, 2007).

Freitas (2018), em um estudo realizado no rio Beberibe na região metropolitana do Recife-PE, observou valores de clorofila-a semelhantes aos observados no reservatório e em dois pontos verificou-se que o período chuvoso apresentou valores de clorofila-a superiores. Diante desses resultados, há um indício de que os ambientes fluviais apresentam valores de clorofila-a mais baixos que os observados nos estuários.

6 CONCLUSÃO

Através dos dados de monitoramento da qualidade de água do reservatório Itaparica, pode-se verificar que o reservatório se enquadra na classificação classe I da resolução 357 (CONAMA, 2005). Faz-se necessário que ocorra a ampliação da investigação da qualidade de água para as águas subterrâneas, sobretudo com relação à condutividade elétrica.

A análise estatística apontou que os parâmetros pluviosidade e vazão apresentam diferença significativa entre os períodos secos e chuvosos. Já os parâmetros cota e volume apresentam diferença significativa entre os anos analisados. Portanto, a chuva e a vazão podem impactar negativamente no período chuvoso, uma vez que os organismos bentônicos se desenvolvem mais no período seco devido às condições favoráveis.

Um fator importante para o sistema de FM é ser alocado em aquíferos aluviais consistidos com depósitos de areia, cascalho e até pedras. A geologia aponta que o local estudado para implantação do sistema está localizado na bacia sedimentar do Jatobá, na formação Aliança e coberturas eluviais. A formação Aliança apresenta silte em sua composição e as coberturas eluviais apresentam em sua composição material arenoso.

Já os perfis litológicos dos poços cadastrados na CPRM apresentam que no local há predominância do material arenoso, o que mostra viabilidade da aplicação da técnica de FM nessa região. Em relação à granulométrica, observou-se significativa porcentagem de areia e cascalho.

Os perfis geológicos da região, em conjunto com as análises granulométricas do solo/subsolo, confirmaram que as características do local avaliado são adequadas para a implantação de um sistema de tratamento de água por FM.

Para caracterização biológica da zona hiporreica, foram identificados um total de 230 indivíduos da meiofauna, distribuídos em cinco taxa mais representativas: Nematódeo, Anelídeo, Copepoda, Rotíferas e Nauplios. Nemátoda, Copepoda e Anelídeo foram os táxons que tiveram maiores destaques com 35,7, 27 e 21,3% respectivamente do total de indivíduos encontrados. Fazendo um comparativo com outros estudos desenvolvidos, constatou-se que a quantidade de indivíduos identificados é baixa, o que pode indicar baixa atividade biológica.

É de fundamental importância a continuação e um maior aprofundamento nos estudos da meiofauna localizada na zona hiporreica, pois os ciclos desses organismos são altamente variáveis e as poucas amostragens realizadas não podem ser consideradas como um padrão de comportamento dos organismos.

As pesquisas relacionadas a essa interface estão evoluindo em todo o mundo e recomenda-se aprofundar mais a investigação, dando ênfase às variáveis que influenciam a zona de transição, podendo refletir nos resultados da eficiência do processo de FM.

Portanto, os resultados apontam que o local avaliado apresenta perfis geológicos e granulometria em conformidade com a implantação da FM, o reservatório apresenta dados hidrológicos estáveis, a qualidade da água superficial está em conformidade com seu respectivo enquadramento. E, embora recomende-se uma investigação mais aprofundada da zona hiporreica e avaliação das variáveis que influenciam o sistema, é possível diagnosticar que os cenários encontrados foram favoráveis para aplicação da técnica de FM às margens do rio São Francisco na cidade de Petrolândia.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, Norma Brasileira Nº 7181, Solo — Análise granulométrica, NBR 7181. 2018.

AHMED, A. K. A.; MARHABA, T. F. Review on river bank filtration as an in situ water treatment process. **Clean Technologies And Environmental Policy**, v. 19, n. 2, p.349-359, 2016.

ALBUQUERQUE, T. B. V. Caracterização física e biológica da Zona Hiporreica na interação rio- aquífero no Rio Beberibe – Pernambuco. Universidade Federal de Pernambuco, Doutorado em Engenharia Civil – Área de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Tese de Doutorado. Recife – PE, 2015.

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2024). “Sistema de acompanhamento de reservatórios. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/sar/sin/b_sao-francisco>. Acesso em: 01 de fevereiro de 2024.

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2010). Atlas Brasil: Abastecimento urbano de água: resultados por estado. Brasília: ANA: Engcorps/Cobrape, v. II, 2010.

ANJOS, R. S. dos. Caracterização das chuvas através do satélite TRMM em Petrolândia-Pe. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 18, ano 12, 2016

APAC. Agência Pernambucana de Águas e Clima (2024). “Precipitação média por município”. Disponível em: <<https://www.apac.pe.gov.br/193-climatologia/521-climatologia-por-municipio>>. Acesso em: 01 de fevereiro de 2024.

APAC. Agência Pernambucana de Águas e Clima (2015). Elaboração de planos de aproveitamento da infraestrutura hídrica do Semiárido: diagnóstico da situação atual das barragens e reservatórios. Recife: APAC, 2015. 168 p.: il.

APAC. Agência Pernambucana de Águas e Clima (2023). Bacias hidrográficas. Disponível em: <http://old.apac.pe.gov.br/pagina.php?page_id=5&subpage_id=29>. Acesso em: 20 de novembro de 2023.

BARROWS, H. L.; KILMER, V. J. Plant Nutrient losses from soils by water erosion. **Advances in Agronomy**. New York, 15: 303-16, 1963.

BATISTA, M. S. A problemática do abastecimento de água na cidade de Triunfo - PB no período de 2012 e 2013, Cajazeiras, 2014. 480f. : il.

BENITES, C. M. Estudo sobre a proposta de metodologia para ensaios de determinação das concentrações e fósforo e clorofila "a" para emprego nos exames periciais de unidades de criminalística da Polícia Federal. Universidade Federal de Santa Catarina, Mestrado em Perícias Criminais Ambientais. Dissertação de Mestrado. Florianópolis-SC, 2014.

BLANCO, S.; ECTOR, L.; BÉCARES, E. Epiphytic diatoms as water quality indicators in Spanish shallow lakes. **Vie et Milieu**, v. 54, n. 2-3, p. 71–79, 2004.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado de Pernambuco. Recife, 1973. 2 v. (DNPEA-DPP-DDP. Boletim Técnico, 26; SUDENE-DRN. Série Pedologia, 14).

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional - Secretaria Nacional de Saneamento - SNS. Panorama do Saneamento Básico no Brasil 2021 / Secretaria Nacional de Saneamento do Ministério do Desenvolvimento Regional. – Brasília/ DF, 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. Manual de operação e manutenção de sistemas de tratamento de água por FM, 2018. 57 p. : il

BRASIL. Ministério da Saúde. Manual de orientação para cadastramento das diversas formas de abastecimento de água, 2007.

Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano/ Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. – Brasília : Ministério da Saúde, 2006. 212 p. – (Série B. Textos Básicos de Saúde)

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução n.º 358, de 29 de abril de 2005. Dispõe sobre o tratamento e

a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde e dá outras providências. Brasília, DF, Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, 4 de maio 2005.

BRUNKE, M.; GONSER, T. The ecological significance of exchange processes between rivers and ground-water. **Freshwater Biol** 37, p.1–33, 1997.

CADY, P; BOVING, T. B; CHOUDRI, B. S; CORDING, A; PATIL, K; REDDY, V. Attenuation of bacteria at a riverbank filtration site in rural India. **Water Environment Research**, v. 85, n. 11, p. 2164-2174, 2013.

CARVALHO, R. M. C. M. de. O. Avaliação dos perímetros de irrigação na perspectiva da sustentabilidade da agricultura familiar no semiárido Pernambucano. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Recife, 2009.

CARVALHO FILHO, J. A. A. de. Estudo de contaminantes emergentes e meiofauna no rio Ipojuca no município de Caruaru. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental, 2019.

CASTRO, F. J. V. Variação temporal da meiofauna e da nematofauna em uma área mediterrânea da bacia do pina (Pernambuco, Brasil). Universidade Federal de Pernambuco, Mestrado em Oceanografia. Tese de Doutorado. Recife-PE, 2003.

CBHSF. Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (2024). A Bacia: Principais Características. Disponível em: <<https://cbhsaofrancisco.org.br/a-bacia/>>. Acesso em 20 de março de 2024.

CBHSF. Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (2015). “Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco 2016-2025”.

CHESF. Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (2010). “Inventário dos Ecossistemas Aquáticos do Baixo São Francisco. Reservatório de Itaparica, 2º. Relatório Anual, Dezembro/2008 a Novembro/2009”.

CHESF. Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (2024). “Monitoramento do Rio São Francisco”. Disponível em: <<https://www.chesf.com.br/sustentabilidade/Pages/MeioAmbiente/Monitoramento-do-Rio-Sao-Francisco.aspx>>. Acesso em: 20 de janeiro de 2024.

CHESF. Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (2024). “Itaparica terá aumento de volume útil”. Disponível em: <
https://www.chesf.com.br/_layouts/15/chesf_noticias_farm/noticia.aspx?idnoticia=535
>. Acesso em: 20 de janeiro de 2024.

COLIJN, F. C.; DIJKEMA, K. S. Species composition of benthic diatoms and distribution of chlorophyll-a on an intertidal flat in the Dutch Wadden Sea. **Mar. Ecol. Prog. Ser.** v.4. p. 9-21, 1981.

COULL, B.C. Role of meiofauna in estuarine soft-bottom habitats. **Australian Journal of Ecology.** v. 24, p. 327-343, 1999.

COSTA, I. P.; MILHOMEM, P. S.; CARVALHO, M. S. Bacias sedimentares brasileiras: Bacia de Jatobá. Aracaju: Fundação Paleontológica Phoenix, 2003.

COSTA FILHO, W. D. Comportamento das bacias sedimentares da região semi-árida do Nordeste brasileiro. Hidrogeologia da Bacia do Jatobá: Sistema Aquífero Tacaratu/Inajá. Recife: UFPE/CPRM/FINEP, 2005. 00p. il.

CPRH. Companhia Pernambucana do Meio Ambiente (2020). “Relatório de monitoramento de bacias hidrográficas do Estado de Pernambuco – 2019”. Recife, 200p. CPRH - Agência Estadual de Meio Ambiente (2020). “Base municipal de informações das águas subterrâneas dos municípios de Petrolândia e Jatobá – PE”. Recife, 31p.

CRUZ, H. M. da. Avaliação da eficiência da filtração em margem na remoção de resíduos farmacêuticos potencialmente ativos em um trecho do Rio Capibaribe. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Recife, 2019.

DAHM, C. N. N. B.; GRIMM, P.; MARMONIER, H. M.; VERVIER, P. Nutrient dynamics at the interface between surface waters and groundwaters. **Freshwater Biology**, v.40, p.427–451, 1998.

DALTO, A. G.; ALBUQUERQUE, E. F. Meiofauna distribution in a Tropical Estuary of the South-Western Atlantic (Brazil). **Vie et Milieu**, v.50, n.3, p. 151-162, 2000.

DI BERNARDO, L.; SABOGAL PAZ, L.P. **Seleção de tecnologias de tratamento de água.** v. 1 e 2. São Carlos: LDiBe, 2008, 1560 p.

ECKERT, P.; IRMSCHER, R. Over 130 years of experience with riverbank filtration in Düsseldorf, Germany. **Journal of Water Supply: Research and Technology-AQUA**, v. 55, n. 4, p. 283-291, 2006.

ELORANTA, P.; SOININEN, J. Ecological status of some Finnish rivers evaluated using benthic diatom communities. **Journal of Applied Phycology**, v. 14, n. 1, p. 1–7, 2002.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. Review of World Water Resources by Country. FAO's Aquastat Programme, Water Reports 23, Rome 2003.

FEITOSA, F. A. F.; MANOEL FILHO, J. **Hidrogeologia – Conceitos e Aplicações**. CPRM, 1997.

FREITAS, J. B. de A. Caracterização da zona hiporreica no trecho médio do rio Beberibe considerando aspectos biológicos e sedimentológicos. Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Dissertação de mestrado, 2018.

FREITAS, D. A. DE. O emprego da técnica de filtração em margem para tratamento de água no rio Beberibe, Região Metropolitana do Recife. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Pernambuco. Recife. 2010.

FREITAS, J. B. A.; CARBAL, J. J. D. S. P.; PAIVA, A. L. R.; VERAS, T. B.; MONTEIRO, R. V. A. Influência da interação rio-aquífero sobre a distribuição vertical da meiofauna hiporreica. **Águas Subterrâneas**, v. 33, n. 4, p. 354-367, 2019.

GARCÍA, V. M.; GALVIS, G. Sostenibilidad en Proyectos de Abastecimiento de Agua Taller Selección de Tecnología para el Mejoramiento de la Calidad de Agua Cali, Colombia, 2000.

GIERE, O. Meiobenthology: the microscopic motile fauna of aquatic sediments. Springer Science & Business Media, ed. 2, 2009. ISBN 978-3-540-68657-6

GILFELFALK, M; MASSMANN, G.; NÜTZMANN, G.; HILT, S. Potential impacts of induced bank filtration on surface water quality: a conceptual framework for future research. **Water**, v. 10, n. 9, p. 1240, 2018

GOMES, D. J. C.; SILVA, L. P.; PIRES, E. A.; OLIVEIRA, M. R. S.; FERREIRA, N. S.; LIMA, I. C. P.; DIAS, G. F. M. Variabilidade hidroclimática e alterações do uso e cobertura da terra, Sub-Bacia Hidrográfica do Médio São Francisco. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 15, n. 01, p. 050-067, 2022.

GRISCHEK, T.; BARTAK, R. Riverbed clogging and sustainability of riverbank filtration. *Water*, v. 8, n. 12, p. 604, 2016.

GUEDES, T. L.; SOUZA, F. H.; GHISI, D. B.; PEREZ, A. B. A.; DALSSASSO, R. L.; SENS, M. L. Aplicação da filtração em margem de rio como alternativa de tratamento de água para comunidades isoladas. *Revista DAE*, v. 67, n. 215, p.84-94, 2017.

HANNAH, D.; KRAUSE, S.; FLECKENSTEIN, J.; HEPPELL, K. et al. Biogeochemistry and the hydroecology of the hyporheic zone. In: ENVIRONMENTAL AGENCY. The Hyporheic Handbook. Science Report: SC050070. Chapter 5. October, 2009.

HAWKINS, A. J. S.; BAYNE, B. L.; MONTOURA, R. F. C.; LLEWELLUN, C. A.; NAVARRO, E. Chlorophyll degradation and absorption throughout the digestive system of the blue mussel *Mytilus edulis*. *Exp. Mar. Biol. Ecol*, v. 96, p.213-223, 1986.

HISCOCK, K. M.; GRISCHEK, T. Attenuation of groundwater pollution by bank filtration. *Journal of Hydrology*. v. 266, n. 3, p. 139-144, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(02\)00158-0](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(02)00158-0).

HU, B; TENG, Y; ZHAI, Y; ZUO, R; LI, J; CHEN, H. Riverbank filtration in China: A review and perspective. *Journal of Hydrology*, v. 541, p. 914-927, 2016.

HUNT, H. SCHUBERT, J. RAY, C. Riverbank Filtration – Improving Source-Water Quality. Chapter Conceptual Design of Riverbank Filtration Systems. **Kluwer Academic Publishers**. California, USA. 2002.

GIERE, O. Meiobenthology: The Microscopic Motile Fauna of Aquatic Sediments. Second Edition. Springer. 2009.

HAWKINS, A. J. S.; BAYNE, B. L.; MONTOURA, R. F. C.; LLEWELLUN, C. A.; NAVARRO, E. Chlorophyll degradation and absorption throughout the digestive system of the blue mussel *Mytilus edulis*. *Exp. Mar. Biol. Ecol*, v. 96, p.213-223, 1986.

HISCOCK, K. M.; GRISCHEK, T. Attenuation of groundwater pollution by bank filtration. *Journal Of Hydrology*, v. 3, n. 4, p.139-144, 2002.

HUANG, D.; LIU, X.; LIN, M.; CHEN, H.; WEI, L.; HUANG, L.; ZHANG, Z. Effects of sewage discharge on abundance and biomass of meiofauna. **Yingyong Shengtai Xuebao**, v. 25, p. 3023-3031, 2014.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2024). Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2017. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/multidominio/meio-ambiente/9073-pesquisanacional-de-saneamento-basico.html?edicao=18098&t=o-que-e>>. Acesso em 23 nov. 2024

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2023). Cidades. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 12 de jul. de 2023.

JESUS, B. M. F. B. Ecophysiology and spatial distribution of microphytobenthic biofilms. Doutorado. Faculdade de Ciências - Departamento de Biologia. Universidade de Lisboa, Lisboa, 2005.

JUNG, J. Factors detennining the leaching of nitrogen from soil, inciuding some aspects of maintenance of water quality. In: FAO. Effects of intensive fertüizer use on the hwnan évironment. Rome, Suedish International Development Authority. p. 81-107, 1972. (Soil Bulletin, 16).

KOTWICK, L. et al. Horizontal and vertical distribution of meiofauna on sandy beaches of the North Sea. **Helgol Mar Res**, v. 59, p. 255–264, 2005.

KUEHN, W.; MULLER, U., Riverbank filtration: an overview. J. Am. **Water Works Assoc.** 92 (12), p.60–69, 2000.

LIU, Y.; DEDIEU, K.; SANCHEZ-PÉREZ, J.; MONTUELLE, B. Role of biodiversity in the biogeochemical processes at the water-sediment interface of macroporous river bed: An experimental approach. *Ecological Engineering*, v. 103, part B, p. 385-393, 2017.

LOPES, H.; SOBRAL, M. C.; GUNKEL, G.; CANDEIAS, A. L.; MELO, G. Comportamento espacial da clorofila-a no reservatório de Itaparica, rio São Francisco. **Eng Sanit Ambient** | v.20 n.3 | jul/set 2015

LORENZEN, C. J. Determination of chlorophyll and phaeopigmentes: Spectrophotometric equations. **Limnol Oceanogr.**, v. 12, p.343-346, 1967.

LORENZEN, G.; SPRENGER, C.; TAUTE, T.; PEKDEGER, A.; MITTAL, A.; MASSMANN, G. Assessment of the potential for bank filtration in a water-stressed megacity (Delhi, India). **Environmental Earth Sciences**, v. 61, n. 7, p. 1419-1434, 2010.

LU, C.; CHEN, X.; OU, G.; CHENG, C. Determination of the anisotropy of an upper stream bed layer in east-central Nebraska, USA. **Hydrogeology Journal**, v.20, p.93-101, 2012.

MACINTYRE, H. L.; GEIDER, R. J.; MILLER, D. C. Microphytobenthos: the ecological role of the “secret garden” of unvegetated, shallow-water marine habitats. I. Distribution, abundance and primary production. *Estuaries*, v.19, p. 186–201, 1996.

MARIDET, L.; PHILIPPE, M. Influence of substrate characteristics on the vertical distribution of stream macroinvertebrates in the hyporheic zone. *Folia Facultatis Scientiarum Naturalium Universitatis Masarykianae Brunensis*, **Biologia**, v. 91, p. 101–105, 1995.

MONTAGNA, P. A.; BLANCHARD, G. F.; DINET, A. Effects of production and biomass of intertidal microphytobenthos on meiofaunal grazing rates. *J. Exp. Mar. Bio. Ecol*, v.185, p. 149-165, 1995.

MUGNAI, R.; MESSANA, G.; DI LORENZO, T. The hyporheic zone and its functions: revision and research status in Neotropical regions. Resultados da pesquisa. **Brazilian Journal of Biology**. v. 75, n. 3, p. 524-534. 2015.

MURSHED, M. F.; KAMARUZAMAN A.; AZIZ, N. A. A.; KAMAL, N H M. Influence of grain size distribution towards improvements of turbidity, colour and suspended particles in a riverbank filtration process - a column study. *Iop Conference Series: Materials Science and Engineering*, v. 920, p. 012006, 2020.

NASCIMENTO, R. F. do. Avaliação preliminar da contaminação por compostos farmacêuticos na interação Rio-aquífero. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2021.

NETTO, S. A.; PAGLIOSA, P. R.; FONSECA, A. L. O.; GALLUCCI, F.; FONSECA, G. F. C.; SOUZA, R. S.. Interações entre o microfitobentos, meiofauna e macrofauna (Praia Comprida, Santa Catarina). **Braz. J. Ecol.** v. 11, p. 78-82, 2007.

PAIVA, A. L. R. O processo de Filtração em Margem e um Estudo de Caso no rio Beberibe. Universidade Federal de Pernambuco, Doutorado em Engenharia Civil – Área de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Tese de Doutorado. Recife – PE, 2009.

PAIVA, A. L. R. de; CABRAL, J. J. S. P.; DEMÉTRIO, J. G. A.; SOBRAL, M. C. M. Filtração Em Margem Para Indução De Recarga E Melhoria Da Qualidade De Água – Estudo De Caso: Rio Beberibe. **Águas Subterrâneas**, 2010.

PBHSF. Plano de Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. RF03 – Resumo Executivo. CBH São Francisco – Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. 327p., 2016.

PHOLKERN, K.; SRISUK, K.; GRISCHEK, T.; SOARES, M.; SCHAFER, S.; ARCHWICHAI, L.; SARAPHIROM, P.; PAVELIC, P.; WIROJANAGUD, W. Riverbed clogging experiments at potential river bank filtration sites along the Ping River, Chiang Mai, Thailand. **Environmental earth sciences**, v. 73, n. 12, p. 7699-7709, 2015.

PLANTE-CUNY, M. R. Pigments photosynthétiques et production primaire des fourmis néotropiques d'une région tropicale (nosy-Bé, Madagascar) Travaux et Documents de ORSTOM, 96:1-359, 1978.

RABELO, L. Estudos preliminares para implantação da filtração em margem na lagoa do Peri de pré-tratamento de água para remoção de fitoplâncton. Universidade Federal de Santa Catarina, Mestrado em Engenharia Ambiental. Dissertação de Mestrado. Florianópolis - SC, 2006.

RAY, C. Riverbank filtration: Understanding contaminant biogeochemistry and pathogen removal. NATO Science Series. IV Earth and Environmental Sciences – v. 14, 2002.

RAY, C.; GRISCHEK, T.; SCHUBERT, J.; WANG, J.; SPETH, T. A perspective of riverbank filtration. **AWWA** 94: 149-160, 2002.

RICHTER, C. A. Água: métodos e tecnologia de tratamento. São Paulo: **Edgard Blucher**, 2009.

ROCHA, S. F.; MARQUES, E. A. G. Caracterização Hidrogeológica de um Sistema de Filtração em Margem de Lago. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 39, n. 1, p. 133-141, 2016.

ROMERO-ESQUIVEL, L. G.; PIZZOLATTI, B.; SENS, M. L. Potential application of bank filtration in Santa Catarina, Brasil. **Interciência**, v. 41, n. 11, p. 740-747, 2016.

SAHOO, G. B.; RAY, C.; WANG, J. Z.; HUBBS, S. A.; SONG, R.; JASPERCE, J.; SEYMOUR, D. Use of artificial neural networks to evaluate the effectiveness of riverbank filtration. **Water Research**, v. 39, p. 2505 – 2516, 2005.

SAHU, R. L.; DASH, R. R.; PRADHAN, P. K.; DAS, P. Effect of hydrogeological factors on removal of turbidity during river bank filtration: Laboratory and field studies. *Groundwater for Sustainable Development*, v. 9, p. 100229, 2019.

SAMPAIO, E. A. S.; Comparação da diversidade e estrutura das comunidades de macroinvertebrados bentônicos associados ao bioinvasor *Corbicula fluminea* na área estuarina de água doce dos rios Minho e Lima. Universidade do Porto – PT, Mestrado em Ciências do Mar. Dissertação de Mestrado. Porto – PT. 146P, 2012.

SANTOS, L. L.; CABRAL J. J. S. P; CIRILO, J. A.; FREITAS, D. A; SENS, M. L; ARAGÃO, R; BARROS, T. H. S. Aplicação da tecnologia de filtração em margem para população difusa no Semiárido Pernambucano. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Si, v. 19, n. 4, p.49-58, 2014.

SANTOS, L. L.; CABRAL, J. J.; MELO, R. T.; MOLICA, R. J. R.; BARROS, T. H. S. Aplicação da Técnica de Filtração em Margens em um Reservatório Eutrofizado no Semi-Árido Nordeste. In: XIV World Water Congress. Congresso Internacional de Recursos Hídricos. Porto de Galinhas-PE, 2011.

SANTOS, L. L.; BARROS, T. H. S.; CABRAL, J. J. S. P.; MELO, C. R. T. Aplicação da tecnologia de filtração em margens para redução ou eliminação de contaminantes físico-químicos na região semi-árida de Pernambuco. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Maceió, 2011. Anais. Maceió, 2011.

SCHMIDT, C. K; LANGE, F. T; BRAUCH, H. J; KUHN, W. Experiences with riverbank filtration and infiltration in Germany. **Water Technology Center**, Karlsruhe, p.1-17, 2003.

SENS, M. L.; DALSSASSO, R. L.; MONDARDO, R. I.; MELO FILHO, L. C. Filtração em margem. In: Pádua, V. L. (coord). Contribuição ao estudo da remoção de cianobactérias e microcontaminantes orgânicos por meio de técnicas de tratamento de água para consumo humano. Rio de Janeiro: ABES- Prosab 4, p.173-236, 2006.

SENS, M. L. Filtração em Margem. In. Contribuição ao estudo da remoção de cianobactérias e microcontaminantes orgânicos por meio de técnicas de tratamento de água para consumo humano. 1 ed. Minas Gerais: PROSAB-04, 2006. cap.5, 173-236 p.

SIAGAS/CPRM. Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (2024). Disponível em: <<https://siagasweb.sgb.gov.br/layout/>>. Acesso em: 01 de março de 2024.

SILVA, A. B. Avaliação do emprego da ultrafiltração em membrana na remoção de células de cianobactérias para águas de abastecimento 2008. 104p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2008.

SILVA, L. C. da. Caracterização Física E Biológica Da Zona Hiporreica Na Interação Rio-Aquífero Em Trecho Do Rio São Francisco. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental, 2023.

SILVA, R. C. A.; ARAÚJO, T. M. Qualidade da água do manancial subterrâneo em áreas urbanas de Feira de Santana (BA). **Ciência & saúde coletiva**, 8(4): 1019-1028, 2003

SOUSA, V. A. de; LOPES, P. J. MONTEIRO, R. R. de C.; BRITO, F. B. T.; PEREIRA, R. F.; SANTOS, S. H. L. dos; SILVA, A. S. da. Influência na variação dos volumes dos reservatórios na geração de energia: um estudo comparativo dos reservatórios do nordeste – Sobradinho e Itaparica. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Florianópolis, 2017. Anais. Florianópolis, 2017.

SRHE. Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos (2010). Estudo hidrogeológico da bacia sedimentar do Jatobá: relatório final, Recife : SRHE, 2010. 2 v. (v. I, 351; v. II, 424 p.) : il.

STRAYER, D.L.; MAY, S.E.; NIELSEN, P.; WOLLHEIM, W.; HAUSAM, S.; Oxygen, organic matter, and sediment granulometry as controls on hyporheic animal communities. **Arch. Hydrobiol.** 140, 131–144, 1997.

TEMÓTEO, J. W. de C. Base municipal de informações das águas subterrâneas: municípios de Petrolândia e Jatobá - PE. Recife: CPRM, 2000. 18 p. il.

TRINDADE, R.L. Interação microfítobentos x copepoda harpacticóida em área estuarina do Canal de Santa Cruz. Universidade Federal de Pernambuco, Mestrado em Oceanografia. Dissertação de Mestrado. Recife – PE, 2007.

TUFENKJI, N.; RYAN, J. N.; E ELIMELECH, M. Bank filtration: a simple technology may inexpensively clean up poor-quality raw surface water. **Environmental Science and Technology**, p. 423-428, 2002.

TUNDISI, J.G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. Rima, São Carlos. 248p, 2003.

UNIYAL, D. P.; BARI, S. K.; ASWAL, J. S.; DOBHAL, R.; POKHRIYAL, A.; KAUSHIK P. K. River bank filtration: an innovative solution for safe drinking water. **Everyman's Science**, Kolkata, v. 53, n. 2, p.70-76, 2018.

VASCONCELOS, D. M.; SANTOS, P. J. P.; TRINDADE, R. L. Distribuição espacial da meiofauna no estuário do rio formoso, Pernambuco, Brasil. *Atlântica*, 26 (1): 45-54, 2004.

VERAS, T. B.; CABRAL, J. J. D. S. P.; PAIVA, A. L. R. D.; BARCELLOS, R. L.; SANTOS, L. L. D. Vertical hydraulic gradient research in hyporheic zone of Beberibe river in Pernambuco State (Brazil). **RBRH**, v. 21, p. 674-684, 2016.

VERAS, T. B.; CABRAL, J.J.S.P.; PAIVA, A.L.R.; BARRETO, A.F.S. Interação rio-aquífero e a meiofauna do ambiente hiporreico. **Águas Subterrâneas**, v.31, n.1, p.20-35, 2017.

Von SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2005.

WEISS, J. W.; BOUWER, E. J.; ABOYTES, R.; LECHEVALLIER, M. W.; O'MELIA, C. R.; LE, B. T.; SCHWAB, K. J. Riverbank filtration for control of microorganisms: Results from field monitoring. **Water research**, v. 39, n. 10, p. 1990-2001, 2005.